



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISA PENGARUH VARIASI TEGANGAN
TERHADAP KUALITAS SAMBUNGAN HASIL
PENGELASAN GTAW PADA MATERIAL SA 266
GR2N *WITH* CLAD INCONEL 625(*TUBE SHEET*)
DENGAN SA 213 TP304(*TUBE*)**

AULIA UR RAHMAN A
NRP. 2713 100 139

Dosen Pembimbing :
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR – TL141584

Analisa Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap Kualitas Sambungan Hasil pengelasan GTAW pada Material SA 266 Gr 2N *with* Clad Inconel 625 (*Tube Sheet*) dengan SA 213 TP 304 (*Tube*)

Aulia Ur Rahman Aminuddin
NRP 2713 100 139

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT – TL141584

**Analysis of Effect of Voltage Variation on
Quality of Connections GTAW Welding
Result on SA Material 266 Gr 2N with Clad
Inconel 625 (Tube Sheet) with SA 213 TP 304
(Tube)**

Aulia Ur Rahman Aminuddin
NRP 2713 100 139

Advisor
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Departement Of Material dan Metallurgy Engineering
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya
2017

(Halaman Ini Sengaja di Kosongkan)

**Analisa Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap
Kualitas Sambungan Hasil pengelasan GTAW pada
Material SA 266 Gr 2N with Clad Inconel 625 (Tube
Sheet) dengan SA 213 TP 304 (Tube)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Bidang Studi
Metalurgi Manufaktur Progam Studi S-1 Departemen
Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut
Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

AULIA UR RAHMAN AMINUDDIN

NRP.2713100139

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. (pembimbing 1)
2. Wikan Jatimurti, ST., M.Sc. (pembimbing 2)



Analisa Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap Kualitas Sambungan Hasil pengelasan GTAW pada Material SA 266 Gr 2N *with* Clad Inconel 625 (*Tube Sheet*) dengan SA 213 TP 304 (*Tube*)

Nama : Aulia Ur Rahman A
NRP : 2713 100 139
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

HP heater adalah peralatan Heat Exchanger yang berfungsi untuk menaikkan temperatur feed water sesuai temperatur Boiler. Penelitian ini menggunakan material SA 213 TP 304 dan Inconel 625 di pilih karena memiliki sifat ketahanan korosi yang tinggi. Kedua material ini di las menggunakan metode GTAW digunakan sebagai *tube* dan *tube sheet* pada HP heater, akan tetapi sering di jumpai di lapangan terjadi crack pada material ini. Kemudian peneliti melakukan Proses pengelasan menggunakan variasi heat input dengan tegangan 8v, 10v, 12v, 14v, 16v. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh *heat input (tegangan)* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada hasil pengelasan SA 266 GR2N Inconel 625 (*tube sheet*) dengan SA 213 TP 304 (*tube*). Pada penelitian ini dilakukan Pengujian yaitu uji makro, uji mikro, uji XRD dan uji kekerasan. Didapatkan hasil pengujian bahwa daerah aman untuk di lakukan pengelasan pada parameter 8v dan 10v. Persipat karbida ditemukan pada parameter 12v dan 14v.

Kata kunci : SA 213 TP 304, Clad Inconel 625, GTAW, tegangan, struktur mikro, kekerasan.

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

**Analysis of Effect of Voltage Variation on Quality of
Connections GTAW Welding Result on SA Material 266
Gr 2N with Clad Inconel 625 (Tube Sheet) with SA 213 TP
304 (Tube)**

ABSTRACT

HP heater is a Heat Exchanger equipment that serves to raise the temperature of feed water according to Boiler temperature. This research uses SA material 213 TP 304 and Inconel 625 are selected because they have high corrosion resistant properties. Both of these materials are welded using GTAW method which used as tube and tube sheet on HP heater, will often be encountered in crack issue on this material. Then you do Process Welding using variation of heat input with voltage 8v, 10v, 12v, 14v, 16v. The purpose of this research is to analyze the effect of heat input (voltage) on mechanical properties and micro structure on welding result SA 266 GR2N Inconel 625 (tube sheet) with SA 213 TP 304 (tube). In this trial, test, hardness test. Obtain the appropriate result for safety parameters at 8v and 10v parameters. Carbide recipients are featured on 12v and 14v parameters.

Keywords: SA 213 TP 304, Inconel 625 Clad, GTAW, Voltage, microstructure, hardness

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala anugerah dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisa Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap Kualitas Sambungan Hasil pengelasan GTAW pada Material SA 266 Gr 2N with Clad Inconel 625 (Tube Sheet) dengan SA 213 TP 304 (Tube)”**. Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Keluarga Teguh Hari Prasetyo yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa. Penulis selalu mencintai kalian.
2. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku ketua jurusan Teknik Material dan Metalurgi
3. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. dan Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah menurunkan ilmunya dan memberikan pengetahuan yang lebih luas lagi.
4. Bapak Sutari, Bapak Chanan dan Bapak Sumarsono yang memelihara alat-alat pengujian
5. Bapak Sukirman, Bapak munif, Bapak basoeri, Bapak Hermawan, dan seluruh karyawan PT. PAL Indonesia yang turut membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir penulis
6. Teman-Teman Angkatan 2013 Material dan Metalurgi yang selalu memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir dengan cepat benar dan tepat.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, tetapi besar harapan penulis tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN MUKA.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 High Pressure (HP) Heater.....	5
2.2 Baja Tahan Karat.....	7
2.2.1 Austenitic Stainless Steel.....	9
2.3 Baja SA 213 TP 304.....	10
2.4 SA 266GR2 N.....	11
2.5 Clading Inconel 625.....	12

2.6 Diagram Fasa Cr-Ni.....	13
2.7 Pengaruh Unsur Paduan.....	14
2.8 Pengelasan.....	15
2.8.1 Parameter Pengelasan.....	16
2.9 Metalurgi Pengelasan.....	17
2.9.1 Sumber Tenaga.....	24
2.9.2 Gas Pelingdung.....	26
2.9.3 Filler Metal.....	27
2.10 Non Destructive Testing.....	27
2.11 Pengujian Mekanik.....	28
2.11.1 Pengujian Kekerasan.....	29
2.12 Pengujian Visual.....	31
2.13 X-Ray Diffraction.....	31
2.14 Pengamatan Mikro.....	32
2.15 Penelitian Sebelumnya.....	33
2.15.1 Nilai Kekerasan pada pengelasan Austenitic Stainless Steel menggunakan metode GTAW.....	33
2.15.2 Pengamatan Mikrospektik pada pengelasan Austenitic Stainless Steel menggunakan metode GTAW.....	35
2.15.3 Nilai Kekerasan pada pengelasan SA 266 GR2N Inconel 625 menggunakan metode GTAW.....	36

2.15.4 Pengamatan Mikros optik pada pengelasan SA 266 GR2N Inconel 625 menggunakan metode GTAW.....	37
2.15.5 Pengamatan Mikros optik pada pengelasan inconel 718 menggunakan metode GTAW.....	38
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	41
3.1 Diagram Alir	41
3.2 Rancangan Penelitian.....	42
3.3 Metode Penelitian.....	42
3.4 Bahan Penelitian.....	43
3.4.1 Material Uji.....	43
3.4.2 Elektroda.....	44
3.4.3 Gas Pelindung.....	44
3.4.4 Peralatan Penelitian.....	44
3.5 Tahapan Penelitian.....	45
3.5.1 Parameter Pengelasan.....	45
3.5.2 Preparasi Material.....	46
3.5.3 Pengelasan GTAW.....	47
3.5.4 Liquid Dye Penetrant Testing.....	48
3.6 Proses Pengujian.....	48
3.6.1 Pengujian Kekerasan (hardness).....	49
3.6.2 Pengujian XRD.....	51
3.6.3 Pengamatan XRD.....	51

3.6.4 Uji Metallografi dan Makro etsa.....	52
4.1 Hasil Pengujian.....	54
4.1.1 Pengamatan Visual.....	54
4.1.2 Perhitungan Lebar HAZ.....	58
4.1.3 Pengamatan Strukturmikro.....	59
4.1.4 Pengujian Kekerasan	68
4.1.5 Pengujian XRD.....	72
4.2 Pembahasan.....	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	XIX

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 High Pressure Heater.....	5
Gambar 2.2. Proses Flow Pembangkit Listrik Tenaga Uap Siklus Tertutup.....	6
Gambar 2.3.Diagram fasa Cr-Ni (Sidney H. Avner,1997).....	14
Gambar 2.4.Diagram pembentukan presipitasi karbida pada <i>stainless steel</i> (Michael McGuire,2008)	18
Gambar 2.5. Pembentukan karbida pada 316 (James Redmond, 2008).....	19
Gambar 2.6. Skematik Perilaku Solidifikasi dan Transformasi (Sunandar, 2005)	21
Gambar 2.7. Pengelasan GTAW (DED, 2012).....	23
Gambar 2.8. Distribusi panas pada elektroda tungsten dan kerja pada setiap tipe arus pengelasan(German Development Service,2012).....	25
Gambar 2.9.Metode <i>liquid penetrant test</i> (Radiant).....	28
Gambar 2.10 Penggunaan indenter pada masing-masing pengujian kekerasan (Dieter, 1988).....	29
Gambar 2.11.Ilustrasi Difraksi Sinar-X pada XRD(Thermo ARL,1999).....	32
Gambar 2.12.Microstructur pada austenitic stainless steel pengelasan metode GTAW oleh(Ary Setiawan).....	35
Gambar 2.13 Microstructure pada austenitic stainless steel pengelasan metode GTAW oleh(Fadhil Muhammad).....	36
Gambar 2.14 Macrostructure pada austenitic stainless steel pengelasan metode GTAW(PAL)	38
Gambar 2.15 Microsopic pada inconel 718 dengan stainless steel pengelasan metode GTAW oleh K. Devendranath Ramkumar	39
Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan.....	41

Gambar 3.2 Lubang untuk pengelasan.....	47
Gambar 3.3 Gambar Penampang Spesimen.....	47
Gambar 3.4 Alat Uji Kekerasan	50
Gambar 3.4 Mesin XRD PAN <i>analytical</i>	51
Gambar 3.5. Mikroskop Optik	53
Gambar 4.1. Hasil foto makro sepesimen Parameter 8.5 v.....	55
Gambar 4.2. Hasil foto makro sepesimen Parameter 10.5 v.....	56
Gambar 4.3. Hasil foto makro sepesimen Parameter 12.3 v.....	56
Gambar 4.4. Hasil foto makro sepesimen Parameter 14.4v.....	57
Gambar 4.5. Hasil foto makro sepesimen Parameter 16.2 v.....	57
Gambar 4. 6. Perbandiingan lebar HAZ.....	59
Gambar 4.7 Hasil struktur mikro <i>base metal Stainless steel</i> dengan parameter 8.5 v	60
Gambar 4.8 Hasil struktur mikro <i>fusion line Stainless steel</i> pengelasan dengan parameter 8.5v....	60
Gambar 4.9 Hasil struktur mikro <i>weld metal</i> dengan parameter 8.5 v	61
Gambar 4.10 Hasil struktur mikro <i>base metal Stainless steel</i> dengan parameter 10.5 v	61
Gambar 4.11 Hasil struktur mikro <i>fusion line Stainless steel</i> pengelasan dengan parameter 10.5v	62
Gambar 4.12 Hasil struktur mikro <i>weld metal</i> dengan parameter 10.5 v.....	62
Gambar 4.13 Hasil struktur mikro <i>base metal Stainless steel</i> dengan parameter 12.3 v	63
Gambar 4.14 Hasil struktur mikro <i>fusion line Stainless steel</i> pengelasan dengan parameter 12.3v.....	63
Gambar 4.15 Hasil struktur mikro <i>weld metal</i> dengan parameter 12.3 v.....	64
Gambar 4.16 Hasil struktur mikro <i>base metal Stainless steel</i> dengan parameter 14.4 v.....	64
Gambar 4.17 Hasil struktur mikro <i>fusion line Stainless steel</i>	

pengelasan dengan parameter 14.4 v.....	65
Gambar 4.18 Hasil struktur mikro <i>weld metal</i> dengan parameter 14.4 v.....	65
Gambar 4.19 Hasil struktur mikro <i>base metal Stainless steel</i> dengan parameter 16.2 v.....	66
Gambar 4.20 Hasil struktur mikro <i>fusion line Stainless steel</i> pengelasan dengan parameter 16.2 v.....	66
Gambar 4.21 Hasil struktur mikro <i>weld metal</i> dengan parameter 16.2 v.....	67
Gambar 4.22 Hasil struktur mikro <i>base metal</i> inconel dengan parameter 10.5 v.....	67
Gambar 4.23 Nilai kekerasan pada parameter 8.5 v.....	69
Gambar 4.24 Nilai kekerasan pada parameter 10.5 v.....	69
Gambar 4.25 Nilai kekerasan pada parameter 12.3 v.....	70
Gambar 4.26 Nilai kekerasan pada parameter 14.4 v.....	70
Gambar 4.27 Nilai kekerasan pada parameter 16.2 v.....	71
Gambar 4.28 Hasil Pengujian XRD pada titik weld metal.....	72
Gambar 4.29 Hasil Pengujian XRD pada titik weld metal.....	72

(Halaman Ini Sengaja Di Kosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kodifikasi baja tahan karat.....	8
Tabel 2.2 Komposisi Kimia baja SA 213 TP 304.....	11
Tabel 2.3 Komposisi Kimia baja SA 266 GR2N.....	12
Tabel 2.4 Komposisi Kimia baja SA Inconel 625.....	13
Tabel 2.5 Tipe Solidifikasi, Reaksi dan Struktur Mikro.....	21
Tabel 2.6 Hasil uji kekerasan austenitic stainless steel.....	34
Tabel 2.7 Hasil uji kekerasan austenitic stainless steel.....	34
Tabel 2.8 Hasil uji kekerasan SA 266 GR2N Inconel 625 oleh PT.PAL.....	37
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian.....	42
Tabel 3.2 Komposisi Kimia SA 266 GR2N.....	43
Tabel 3.3 Komposisi Kimia SA 213 TP 304.....	43
Tabel 3.4 Chemical Composition Elektroda.....	44
Tabel 3.5 Parameter Pengelasan.....	46
Tabel 4.1. Perhitungan Lebar HAZ.....	58
Tabel 4.2. Hasil pengujian kekerasan.....	68

(Halaman Ini Sengaja Di kosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada dunia rekayasa industri seperti *oil and gas*, *chemical plant* dan *fabricator pressure vessel*, proses penyambungan yang paling penting adalah pengelasan. Pada sambungan-sambungan konstruksi mesin, penggunaan teknik pengelasan telah banyak digunakan karena mesin yang dibuat dengan teknik ini menghasilkan sambungan yang lebih ringan dan lebih sederhana dalam pembuatannya sehingga dapat menekan biaya produksi. Pengelasan biasa digunakan untuk menyambung dua plat atau poros, mempertebal bagian-bagian yang sudah aus dan lain-lain. Karena itu rancangan las harus memperhatikan kesesuaian antara jenis material yang akan dilas dan metode yang digunakan dalam proses pengelasan, sehingga hasil dari pengelasan memiliki kekuatan sambungan yang bagus dan sesuai dengan yang diharapkan. Pengelasan merupakan proses pembentukan yang banyak dilakukan dalam dunia industri saat ini (Wiryosumatro, Harsono, dan Toshie, Okumura. 2004). Pengelasan dapat dilakukan pada bangunan, pipa, bejana bertekanan, otomotif, jembatan, dan lain-lain. Pengelasan memiliki beberapa metode yang berbeda-beda, ada SMAW, GTAW, GMAW, dan masih banyak yang lainnya. Salah satu metode pengelasan yang digunakan dalam dunia industri adalah metode GTAW. GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) merupakan jenis las listrik yang menggunakan elektroda tidak terkonsumsi. Elektroda yang digunakan pada metode ini hanya untuk menghasilkan busur listrik. Metode ini menggunakan bahan tambahan berupa filler (rod) untuk



mencegah oksidasi menggunakan gas mulia (seperti Argon, Helium, Ferron) dan karbon dioksida sebagai gas lindung. (German Development Service,2010).

Dalam proses pengelasan,ada beberapa yang perlu diperhatikan,seperti *heat input* (meliputi ampere,voltase, dan kecepatan pengelasan), elektroda yang digunakan,serta gas pelindung yang digunakan. Parameter di atas dapat berubah-ubah nilainya tergantung dari material yang digunakan. Pemilihan *heat input* yang benar akan menghindari cacat las yang terjadi. Perubahan *heat input* dapat berpengaruh pada lebar HAZ. Sifat mekanik dan struktur mikro juga dapat berubah akibat perubahan parameter.Selain parameter pengelasan, unsur paduan yang terdapat pada material dan kecepatan pendinginan juga dapat mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik.

Permasalahan yang terjadi dalam PT PAL Persero ditemukan retak pada sambungan antara *tube* dan *tube sheet* yang digunakan dalam komponen yang mengalirkan fluida pada *HP heater*.Pada penelitian kali ini menggunakan material SA 266 GR2N Inconel 625 (*tube sheet*) dengan SA 213 TP 304 (*tube*).Dalam penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh variasi *heat input* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada pengelasan SA 266 GR2N Inconel 625(*tubesheet*) dengan SA 213 TP 304 (*tube*) dengan metode pengelasan GTAW.



1.2. Rumusan masalah

Dari uraian pada latar belakang tersebut didapatkan bahwa rumusan masalah yang akan di bahas adalah:

1. Bagaimana pengaruh *heat input* (voltage) terhadap struktur mikro pada hasil pengelasan SA 266 GR2N Inconel 625 (*tubesheet*) dengan SA 213 TP 304 (*tube*) dengan menggunakan metode GTAW?
2. Bagaimana pengaruh *heat input* (voltage) terhadap sifat mekanik pada hasil pengelasan SA 266 GR2N Inconel 625 (*tubesheet*) dengan SA 213 TP 304 (*tube*) dengan menggunakan metode GTAW?

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini tidak melebar dari tujuan yang ingin di capai, maka perlu di tentukan batasan masalah, adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Sudut pengelasan dianggap sama
2. Pengaruh kondisi lingkungan saat pengelasan diabaikan
3. Material dianggap homogen dan bebas cacat

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh *heat input* (voltage) terhadap struktur mikro pada hasil pengelasan SA 266 GR2N Inconel 625 (*tubesheet*) dengan SA 213 TP 304



(*tube*) dengan menggunakan metode GTAW.

2. Menganalisa pengaruh *heat input*(*voltase*) terhadap sifat mekanik pada hasil pengelasan SA 266 GR2N Inconel 625(*tubesheet*) dengan SA213 TP 304 (*tube*) dengan menggunakan metode GTAW.

1.5 Manfaat Penelitian

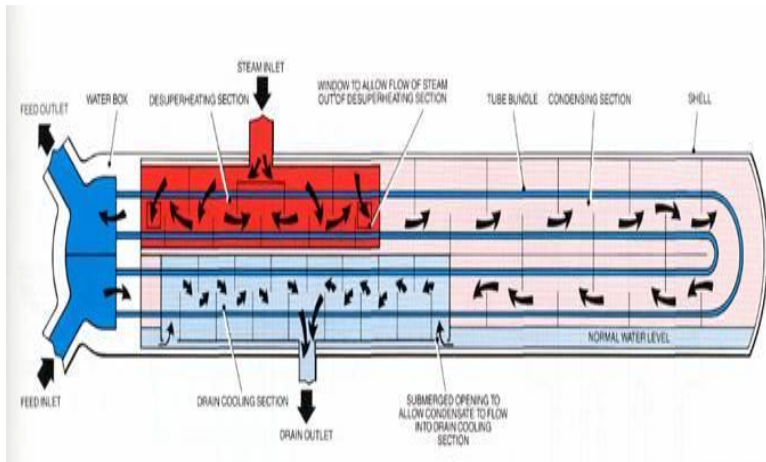
Dari hasil penelitian ini di harapkan mampu menjadi referensi dalam memprediksikan kekuatan hasil las, pemilihan parameter, serta pengembangan lain dalam teknologi pengelasan di masa yang akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

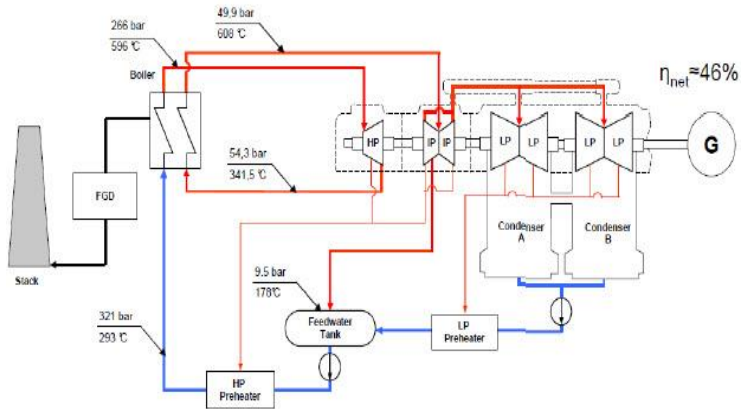
2.1 High Pressure (HP) Heater

HP Heater adalah sebuah peralatan Heat Exchanger yang terdiri dari Shell & Tube yang digunakan untuk menaikkan temperatur feed water sesuai temperatur yang dipersyaratkan oleh Boiler. Temperatur feedwater keluar yang dihasilkan oleh HP Heater biasanya sekitar 250 C keatas seperti gambar 2.1



Gambar 2.1 *High Pressure Heater*(PT Pal)

Berikut schematic mengenai Steam Turbin pembangkit listrik siklus tertutup seperti pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Proses Flow Pembangkit Listrik Tenaga Uap Siklus Tertutup (PT Pal).

Siklus tertutup adalah steam (uap) yang dihasilkan oleh Boiler digunakan oleh steam turbin untuk menggerakkan generator didensasi menjadi air condensate untuk digunakan kembali menjadi steam. Proses tersebut dilakukan oleh Condenser, Gland Condenser, LP Heater, Deaerator, Boiler Feed Pump dan HP Heater. Peralatan ini dikenal dengan sebutan BOP (Balance Of Plant). Dari gambar 2.2 nampak bahwa HP Heater merupakan salah satu peralatan utama untuk beroperasinya suatu pembangkit listrik. Pada pembangkit listrik dengan kapasitas diatas 7 MW keatas selalu diperlukan HP Heater bahkan untuk kapasitas pembangkit 300 MW diperlukan lebih dari satu HP Heater. Steam (uap) yang telah digunakan oleh steam turbin sebagian dikeluarkan kepada HP Heater digunakan memanaskan feed water yang masuk melalui Tube. Uap yang mempunyai temperatur tinggi dialirkan ke dalam Shell dan memanaskan bagian luar permukaan Tube sedangkan feed water dialirkan di dalam Tube. Perpindahan panas terjadi



dengan cara memindahkan energi yang dikandung oleh uap kepada feed water melalui permukaan tube sehingga temperatur feed water yang mengalir di dalam tube akan mengalami kenaikan. Bagian penting HP Heater yaitu Water chamber (sisi Tube) terdiri dari Inlet dan outlet feed water.

Sisi Sheel terdiri dari shell dan tube, inlet steam, inlet drain, outlet drain dan baffle. Pada sisi dalam sheel terdapat beberapa zone yaitu desuperheating zone, condensing zone, dan drain zone. Untuk mendapatkan temperatur feed water keluar sesuai persyaratan Boiler sangat tergantung kepada design HP Heater itu sendiri, parameter steam dan parameter feed water yang dimasukkan ke dalam HP Heater. (Hosni tamrin, 2016).

2.2. Baja Tahan Karat

Baja tahan karat atau *stainless steel* merupakan baja paduan tinggi yang memiliki unsur utama besi dengan penambahan unsur Cr lebih dari 10,5%. Hal ini membuat baja memiliki sifat proteksi terhadap korosi yang sangat tinggi. Sifat tahan korosi ini diperoleh dari lapisan oksida (terutama krom), yang sangat stabil dan melekat pada permukaan dan melindungi baja terhadap lingkungan yang sangat korosif. Baja tahan karat memiliki beberapa seri, berikut merupakan contoh seri tersebut. Baja ini memiliki banyak macam berdasarkan struktur mikronya. Salah satu klasifikasinya adalah *Stainless steel austenitic*.



Tabel 2. 1 Kodifikasi baja tahan karat (Wahid Suherman, 1999)

Series	Groups
2xx	Chromium-Nickel-Manganese; non-hardanable; austenitic; non magnetic
3xx	Chromium-Nickel; non-hardenable, austenitic, non-Magnetic
4xx	Chromium; hardenable, martensitic, magnetic
4xx	Chromium, non-hardenable, ferritic, magnetic
5xx	Chromium; low chromium, heat resisting

Dengan banyaknya jenis *stainless steel*, maka harus diketahui jenis baja tersebut dan pengaplikasiannya bagaimana. Selain unsur Cr dan unsur-unsur yang disebutkan di atas ada juga unsur lain yang dapat meningkatkan kemampuan baja. (Atlas Steels, 2013)

Stainless steel memiliki ketahanan korosi yang bagus dan kekuatan yang tinggi. Pemilihan *stainlee steel* yang akan digunakan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti *corrosion resistance*, *mechanical properties*, *fabrication operation*, dan *total cost*. Ketahanan terhadap korosi merupakan alasan utama pemilihan *stainless steel*. Ketahanan korosi dapat disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya adalah faktor lingkungan. Seperti contohnya faktor lingkungan dengan keadaan asam, maka yang harus dipilih adalah baja dengan tingkat ketahanan korosi yang sangat tinggi agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan. Sifat mekanik juga berpengaruh terhadap baja yang akan digunakan. Kekuatan baja sangatlah penting sebagai dasar pemilihan baja. Kemudian *fabrication operating*



juga harus diperhatikan. Bagaimana baja tersebut bisa dibentuk, dilas, atau semacamnya. Setelah itu yang terakhir adalah total biaya. Biaya merupakan hal yang sangat penting dalam suatu industri. (Specially Steel Industry of North America, 2007)

2.2.1 Austenitic Stainless Steel

Baja tahan karat austenitik memiliki kadar Cr sebesar 17–25 % dengan penambahan Ni sebesar 8 – 20 %. Baja dengan paduan Ni dan Cr diidentifikasi dengan seri 300, sementara baja dengan paduan Ni-Cr-Mn memiliki identifikasi dengan seri 200. Baja ini dapat dikeraskan dengan proses *cold-work*, tapi tidak dengan perlakuan panas. Baja ini bersifat *non magnetic*. *Austenitic stainless steel* memiliki paduan yang cukup untuk menstabilkan *austenit* pada suhu ruang. Baja tahan karat *austenitic* memiliki sifat mampu bentuk dan keuletan pada suhu rendah yang sangat baik. Selain itu baja ini juga memiliki sifat mampu las dan ketahanan karat yang sangat baik. Baja tahan karat jenis ini sangat cocok diterapkan pada sistem dengan temperatur tinggi. (Specially Steel Industry of North America, 2007)

Paduan dasar baja tahan karat austenitik adalah tipe 304. Tipe ini memiliki sifat *weldability* yang bagus dan baja tipe ini cocok digunakan pada lingkungan yang korosif. Baja tipe ini dapat dikembangkan menjadi tipe 321. Baja ini merupakan variasi tipe 304 dengan penambahan titanium untuk mencegah terjadinya presipitasi karbida. Selain itu baja ini juga dapat dikembangkan menjadi tipe 347 yang mirip dengan tipe 321. Perbedaannya adalah terdapat pada unsur tambahannya, yakni Niobium. Selain itu, baja ini juga dapat dikembangkan menjadi 316 dengan penambahan Molybdenum 2 – 3 %. Penambahan molybdenum dapat meningkatkan ketahanan korosi. Selain molybdenum juga terdapat penambahan unsur nikel sebesar 12% yang dapat mempertahankan struktur



austenitik. Tipe 316 juga bisa dikembangkan menjadi tipe 316 L. Tipe L bermakna bahwa tipe tersebut memiliki kadar karbon yang rendah.

2.3 Baja SA 213 TP 304

Merupakan baja *stainless steel*. Biasanya *austenitic stainless steel* disingkat dengan SS. Baja SA 213 merupakan baja *austenitic* Cr-Mo yang ditambahkan oleh Mo. Dengan penambahan tersebut dapat meningkatkan ketahanan korosi serta meningkatkan kekuatan pada temperatur tinggi. Tipe ini dapat diaplikasikan pada *exhaust manifolds, furnace parts, heat exchangers, jet engine part, pharmaceutical and photographic equipment, digesters, tanks, evaporators, pulp, paper and textile processing equipment*, serta komponen pada perkapalan. Pada PT. PAL Indonesia Berikut tabel 2.2 merupakan komposisi kimia dari baja SA 213 berdasarkan ASTM A 240:

Tabel 2.2 Komposisi Kimia baja SA 213 TP 304

Unsur	SA 213 (%)	
C	0.035	
Mn	2.00	
P	0.040	
S	0.030	
Si	0.75	
Cr	18.00	– 20.00
Ni	8.00	– 13.00
Mo	2.00	– 3.00
N	0.10	
Fe	Balance	



Baja ini sangat baik beroperasi di berbagai lingkungan, termasuk lingkungan yang korosif. Sebagai contoh adalah baja ini dapat diaplikasikan pada kapal dimana kemungkinan terjadinya korosi sumuran sangat tinggi. Baja ini juga mempunyai *weldability* cukup baik dan baja tipe ini memiliki keuletan yang bagus. (AK Steel, 2007)

2.4 SA 266GR2 N

SA 266 GR2N merupakan baja carbon rendah. Baja SA 266 GR2N memiliki sifat keuletan, ketangguhan yang baik dan nilai kekerasan yang tinggi. Dengan sifat tersebut tipe ini dapat diaplikasikan, pada perkapalan dan pipa. Pada PT. PAL Indonesia, baja ini digunakan sebagai digunakan sebagai *tube sheet* pada *HP heater* (ASTM A266, 1999)

Berikut tabel 2.3 merupakan komposisi kima dari baja SA 213 TP 304:

Tabel 2.3 Komposisi Kimia baja SA 266 GR2N

Unsur	SA 266 GR2N (%)
C	0 - 0.3
Mn	0.4 - 1.1
P	0 - 0.025
S	0 - 0.025
Si	0.75
Fe	Balance



2.5 Clading Inconel 625

Inconel 625 digunakan Karena memiliki sifat kekuatan yang tinggi, kemampuan fabrikasi yang bagus dan memiliki ketahanan korosi yang baik. Sifat ketahanan korosi yang luar bisa dalam keadaan panas dan tekanan material dari muncul Karena adanya nickel dan chrom pada Inconel 625. Pada PT. PAL Indonesia, baja ini digunakan sebagai *cladding tube sheet* pada *HP heater* (Special metal, 2013)

Berikut tabel 2.4 merupakan komposisi kima dari baja Inconel 625:

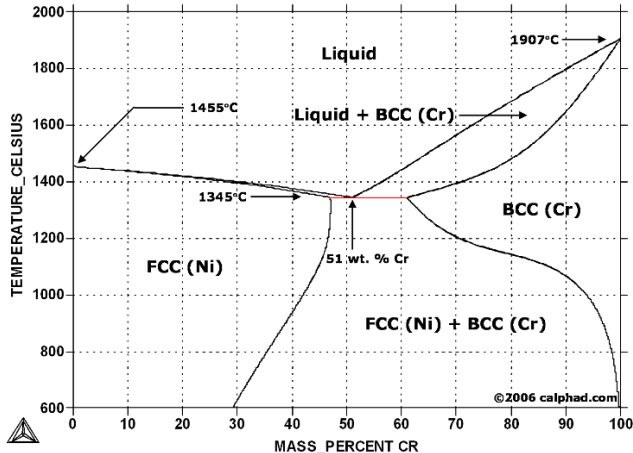
Tabel 2. 4. Komposisi Kimia baja SA Inconel 625

Unsur	Inconel 625(%)
C	0.10 max
Mn	0.50 max
P	0.015 max
S	0.050 max
Si	0.50 max
Cr	20.00-23.0
Ni	58.0 min
Iron	5.0 max
Mo	8.0-10.0 max
Niobium	3.15-4.15
Al	0.40 max
Ti	0.40 max
Cb	1.0 max



2.6 Diagram Fasa Cr-Ni

Baja tipe inconel memiliki kandungan dominan Cr, dan Ni. Berikut gambar 2.3 merupakan diagram fasa Cr-Ni



Gambar 2.3 Diagram fasa Cr-Ni (Sidney H. Avner, 1997)

2.7 Pengaruh Unsur Paduan

Pada tabel 2.2,2.3,2.4 di atas, diperlihatkan baja SA 213 memiliki beberapa unsur paduan, seperti karbon, nikel, molibdenum, dan lain-lain. Berikut merupakan penjelasan mengenai pengaruh-pengaruh unsur paduan di atas

1. Krom
Meningkatkan ketahanan korosi pada baja
2. Nikel
Meningkatkan keuletan dan ketangguhan baja
3. Molibdenum
Meningkatkan ketahanan terhadap korosi lokal dan korosi seragam.



4. Karbon
Meningkatkan kekuatan mekanik.
5. Silikon
Meningkatkan ketahanan oksidasi, baik pada temperatur tinggi, maupun temperatur rendah.
6. Sulfur
Meningkatkan kemampuan *machinability*.
7. Mangan
Meningkatkan Keuletan.

(Outokompu, 2013)

2.8 Pengelasan

Menurut Md. Ibrahim Khan (2007), pengelasan merupakan suatu proses penyambungan antara dua material yang dilakukan melalui peleburan local yang di dasarkan pada perpaduan factor temperature, tekanan dan kondisi metalurgi bahan. Sedangkan menurut AWS (*American Welding Society*) pengelasan merupakan proses penyambungan mataerial dengan memanaskan hingga mencapai temperature peneglasan. Berati dapat dikatakan bahwa pengelasan merupakan penyambungan lokal pada material yang menggunakan energi panas.

Proses pengelasan tidak lepas dari proses pemanasan dan juga pendinginan yang mana kedua hal tersebut mempengaruhi hasil pengelasan. Pemanasan yang lambat dapat menyebabkan perambatan panas ke segala arah. Dengan lambatnya pemanasan tersebut, jumlah pemanasan yang dibutuhkan semakin banyak sehingga dapat memperlambat proses pencairan dan menambah kemungkinan terjadinya penyusutan logam. Sehingga pada pengelasan baja dengan *heat input* yang kecil memungkinkan terjadinya transformasi dari ferrit menjadi austenit. Selain itu, pemanasan juga dapat



mengakibatkan ionisasi dari gas yang berada di sekeliling daerah lasan. Sehingga diperlukan perlindungan terhadap udara pengotor yang ada di sekitarnya, seperti dengan penambahan gas pelindung. Sedangkan untuk proses pendinginan setelah pengelasan dapat merubah struktur mikro dan sifat mekanik dari suatu material.

2.8.1 Parameter pengelasan

Ada beberapa factor yang menentukan kualitas hasil lasan. Faktor-faktor tersebut meliputi arus listrik, tegangan, kecepatan pengelasan, polaritas listrik, dan besar penetrasi las. Arus listrik, tegangan, dan kecepatan, merupakan hubungan yang menghasilkan energi pengelasan tersendiri yang disebut dengan *heat input* (HI). *Heat input* merupakan parameter yang penting. Hal ini dikarenakan, heat input dapat mempengaruhi laju pendinginan yang mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro nya. Berikut merupakan rumusan perhitungan *heat input*

$$H = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{V}$$

Dengan penjelasan sebagai berikut:

H = Heat Input (HI) (kJ/mm)

E = Tegangan (Volt) I = Arus (Ampere)

V = Kecepatan pengelasan (mm/s)

η = efisiensi pengelasan (GTAW= 0.6)

Heat Input las berpengaruh pada proses pelelehan dan penyambungan logam. Semakin besar arus yang diberikan maka semakin cepat proses pelelehan dan penyambungan



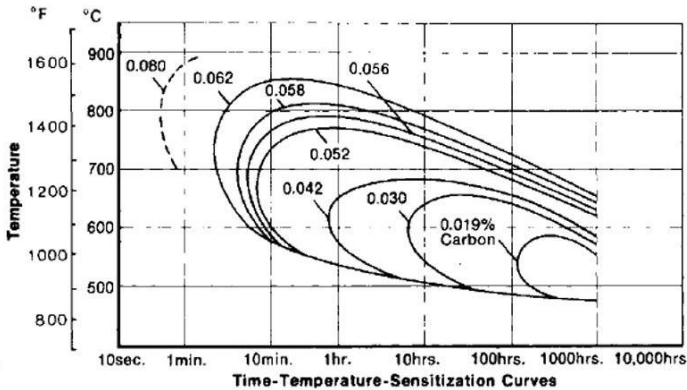
yang terjadi. Tetapi hal ini dapat mengakibatkan semakin besarnya HAZ, % sambungan las, dan perubahan struktur mikro pada daerah sambungan. Apabila *heat input* dari suatu proses pengelasan terlalu tinggi, maka dampak yang terjadi adalah semakin luasnya daerah HAZ. Daerah HAZ yang semakin luas menyebabkan semakin mudahnya terjadi cacat. Namun apabila *heat input* terlalu rendah juga dapat menimbulkan cacat inklusi. Sehingga diperlukan perhitungan secara cermat agar mendapatkan hasil yang memuaskan. *Heat input* juga berpengaruh terhadap laju pendinginan. Efek dari *heat input* terhadap laju pendinginan hampir sama dengan temperatur pemanasan awal. Apabila *heat input* atau temperatur pemanasan awal dinaikkan maka laju pendinginan akan menurun. Arus pengelasan yang digunakan ditentukan oleh diameter elektroda, tebal material yang akan dilas, serta jenis elektroda yang digunakan. Selain *heat input*, waktu juga menjadi parameter dalam pengelasan. Semakin lama pengelasan semakin lama pula waktu yang dibutuhkan. Hal ini mengakibatkan semakin melebar area daerah lelehan. (Etty dan Tri, 1996)

2.9 Metalurgi Pengelasan

Pada proses pengelasan, perlu diperhatikan hal-hal seperti perubahan temperatur, perubahan ukuran benda, serta perubahan fasa yang dapat terjadi. Dalam pengelasan, terdapat tiga daerah hasil lasan, yaitu *base metal*, *weld metal*, dan HAZ. Perbedaan daerah tersebut didasari oleh perbedaan temperatur pemanasan saat berlangsungnya proses pengelasan. *Base Metal* merupakan daerah logam yang struktur dan sifatnya tidak berubah akibat panas dan temperatur selama proses pengelasan. Daerah *weld* atau *fusion zone* merupakan bagian logam yang mencair dan kemudian membeku selama proses pengelasan. Dan yang terakhir adalah daerah HAZ, yaitu daerah batas yang membatasi daerah

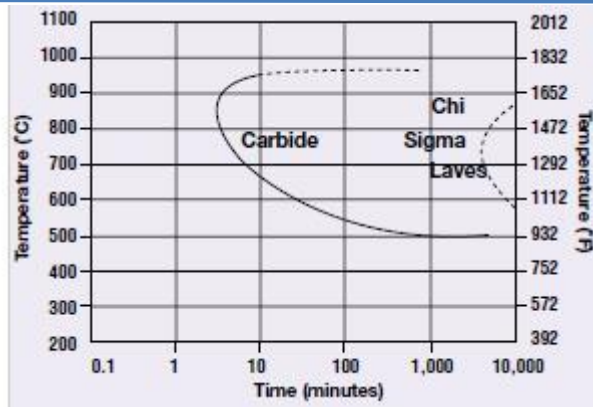


antara weld dan base metal. Berikut gambar 2.4 merupakan *Time-Temperature-Sensinitazion Curve* pada *stainless steel*.



Gambar 2.4 Diagram pembentukan presipitasi karbida pada *stainless steel* (Michael McGuire, 2008)

Pada gambar 2.4 di atas dijelaskan pada temperatur berapa dan kapan presipitasi karbida dapat terbentuk. Hal yang harus diperhatikan dalam pengelasan baja tahan karat adalah mempertahankan agar tidak terjadi keretakan pada daerah lasan dan menjaga sifat ketahanan korosi pada daerah HAZ. Baja tahan karat austenit memiliki 2 – 10 % delta ferrit. Semakin tinggi kandungan delta ferrit, semakin mengurangi keuletan dan mudah retak. Kemungkinan yang terjadi pada metalurgi pengelasan adalah presipitasi karbida dan transformasi lasan dari fasa ferit menjadi fasa sigma pada temperatur tinggi. (Sunandar, 2005).

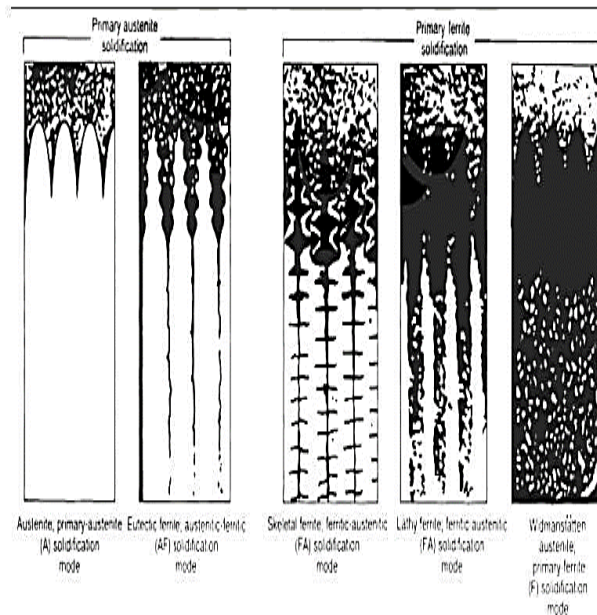


Gambar 2.5 Pembentukan karbida pada 316 (James Redmond, 2008)

Dalam proses pemanasan, kemungkinan dapat terjadi presipitasi karbida yang didukung oleh lamanya waktu pemanasan. Presipitasi karbida yang terjadi antara lain $M_{23}C_6$, fasa sigma, fasa chi, dan lain-lain. Misal diambil SA 266 dipanaskan pada temperatur 700 °C untuk waktu yang lama. Jika komposisinya berada pada daerah delta ferit, austenit dan fasa sigma, transformasi berjalan sangat lambat dan kebanyakan delta ferit terurai menjadi austenit dan karbida dan sisanya tetap stabil sebagai delta ferit. Sedangkan bila komposisinya berada pada daerah delta ferit dan fasa sigma, transformasi berjalan cepat dan kebanyakan delta ferit terurai menjadi austenit dan fasa sigma. Presipitasi karbida yang terbentuk akan menyebabkan terjadinya *intergranular corrosion*. Hal ini disebabkan oleh kadar unsur paduan yang jumlahnya tidak sama pada setiap butir akibat adanya fasa sigma. (Farrar, 1996) Austenitik terbentuk melalui reaksi peritektik-eutrtik dan terdapat pada batas solidifikasi akhir delta ferit di akhir solidifikasi. Pada akhir solidifikasi delta ferit, reaksi peritektik-eutektik membentuk austenit sepanjang sel ferit dan batas dendrit. Ketika pendinginan selesai, struktur mikro terdiri dari dendrit feritik dan layer interdendritik



austenit. Banyaknya austenit yang terbentuk tergantung pada kondisi pendinginan. Pembekuan *weld metal* melalui dua fasa ferit-austenit, ferit menjadi tidak stabil dan austenit mereduksi ferit melalui reaksi difusi. Terdapat 4 kemungkinan solidifikasi dan transformasi keadaan padat pada *weld metal* baja tahan karat austenitik seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1 dan gambar 2.5 (John C. Lippold, 2005)



Gambar 2.6 Skematik Perilaku Solidifikasi dan Transformasi (Sunandar, 2005)



Tabel 2.5 Tipe Solidifikasi, Reaksi dan Struktur Mikro

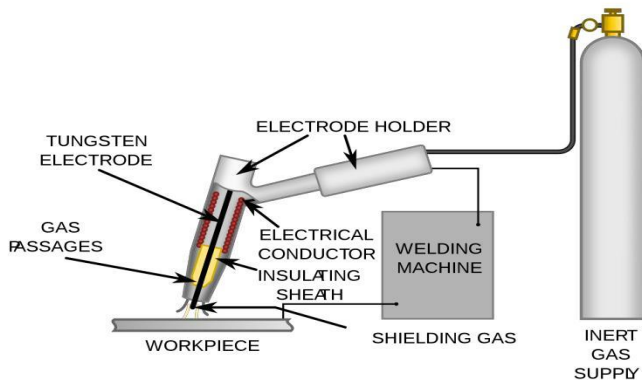
Jenis Solidifikasi	Reaksi	Struktur Mikro
A (Austenit)	$L \rightarrow L + A \rightarrow A$	Struktur fully austenitik, solidifikasi well-Defined
AF (Austenit-Ferit)	$L \rightarrow L + A \rightarrow L + A + (A + F)_{ut} \rightarrow A + Feut$	Ferit pada sel dan batas dendrite
FA (Ferit-Austenit)	$L \rightarrow L + F \rightarrow L + F + (F + A)_{eut} \rightarrow A + Feut$	Ferit skeletal dan/atau lathy hasil dari transformasi ferit-austenit
F (Ferit)	$L \rightarrow L + F \rightarrow F \rightarrow F + A$	Matriks ferit acicular atau ferit dengan batas butir Austenite

2.9 Pengelasan GTAW

Gas Tungsten Arc Welding yang tunjukkan pada gambar 2.7 berasal dari Amerika sedangkan TIG (*Tungsten Inert Gas*) berasal dari Eropa, yang mempunyai pengertian sama yaitu jenis las listrik yang menggunakan elektroda tidak terkonsumsi. Elektroda ini hanya digunakan untuk menghasilkan busur listrik. Bahan penambah berupa filler (rod) untuk mencegah oksidasi dengan menggunakan gas mulia (seperti Argon, Helium, Ferron) dan karbon dioksida sebagai gas lindung. Jenis las ini dapat digunakan dengan atau tanpa bahan penambah. Proses pengelasan ini menggunakan gas lindung untuk mencegah terjadinya oksidasi pada bahan las yang panas.



Busur nyala dihasilkan dari arus listrik melalui konduktor dan mengionisasi gas pelindung. Busur terjadi antara ujung elektroda tungsten dengan bahan induk. Panas yang dihasilkan busur langsung mencairkan *base metal* dan juga logam las yang berupa kawat las. Pencairan kawat las dilaksanakan di ujung kawah las sambil proses pengelasan berjalan. (*German Development Service, 2000*)



Gambar 2.7 Pengelasan GTAW (DED, 2012)

Pengelasan jenis ini dapat digunakan untuk pengelasan aluminium, magnesium, *stainless steel*, titanium, tembaga dan paduannya, serta logam dengan ketebalan berbeda dalam baja ringan. Pengelasan ini menghasilkan mutu yang tinggi pada baja *ferrous* dan non *ferrous*. Apabila dilakukan pengelasan yang tepat, maka pengotor yang terdapat dari atmosfer dapat dihilangkan.

Keuntungan pada proses pengelasan jenis ini adalah dapat diaplikasikan pada material yang sangat tebal ataupun pada plat tipis, dan mampu menampilkan hasil lasan yang berkualitas. Oleh karena itu, pengelasan ini banyak digunakan

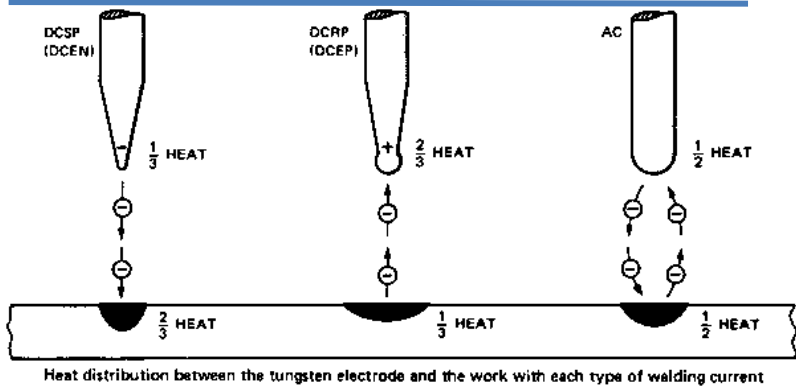


secara luas, seperti pada pengelasan pipa. Hasil dari pengelasan GTAW ini memiliki kemampuan mengatasi masalah pada sambungan las. Dan kecepatan las yang rendah memudahkan pengamatan pada *welder* sehingga mudah mengendalikan logam las selama pengisian dan penyatuan.

Sementara itu, kelemahan pada pengelasan ini terdapat pada laju pengisian yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis pengelasan lainnya. Untuk menghasilkan pengelasan yang baik dibutuhkan daerah sambungan yang lurus. Selain itu, pada pengelasan GTAW harus dihilangkan terlebih dahulu otoran-kotoran yang ada di sekitar spesimen yang akan di las agar terhindar dari porositas dan cacat-cacat las yang lainnya. Kecepatan udara juga harus diperhatikan. Karena jika kecepatan udara di daerah sekitar pengelasan tinggi akan membuat perlindungan dari gas inert GTAW menjadi berkurang. Sehingga hasil pengelasannya tidak maksimal.

2.9.1 Sumber Tenaga

Pengelasan ini dapat dilakukan baik dengan AC maupun DC. Penentuan antara AC dengan DC didasari oleh material apa yang akan dilas. Ada 3 tipe dari dari arus pengelasan, atau polarisasi, yang bisa diterapkan pada pengelasan GTAW. Setiap tipe arus listrik memiliki keistimewaan tersendiri yang membuatnya memiliki spesifikasi yang lebih diperlukan. Perbedaan utama pada arus tersebut adalah pada distribusi panas dan derajat busur. Seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.8 Distribusi panas pada elektroda tungsten dan kerja pada setiap tipe arus pengelasan (German Development Service, 2012)

Berdasarkan gambar di atas, didapatkan 3 tipe, yaitu DCEP, DCEN, serta AC. Berikut penjelasan dari ketiganya:

- *Direct Current Electro Negative (DCEN)*

Biasa disebut dengan *Direct-Current Straight Polarity* (DCSP), benda kerja yang akan dilas dihubungkan dengan kutub positif (+) sementara elektrodanya disambungkan pada kutub negatif (-) pada mesin las DC. Polaritas DCEN menghasilkan pencarian material yang lebih banyak dibandingkan elektrodanya. Sehingga memiliki hasil pengelasan yang dalam.

- *Direct Current Electro Positive (DCEP)*

Benda kerja yang akan dilakukan pengelasan dihubungkan dengan kutub negatif (-) dan



elektrodanya dihubungkan pada kutub positif (+) pada mesin las DC. Polaritas DCEP akan menghasilkan pencairan elektrodayang lebih banyak daripada material nya. Sehingga dapat menghasilkan hasil lasan yang dangkal.

- *Alternating Current (AC)*

AC ini merupakan arus listrik yang besar dan arahnya arus dapat berubah secara boalk-balik. AC ini merupakan setengah DCEP dan setengah DCEN. Bentuk gelombang dari arus ini berupa gelombang sinusoida. Hal ini disebabkan karena arus ini memungkinkan terjadinya perpindahan energi yang paling efisien.

2.9.2 Gas Pelindung

Untuk mencegah pengotor pada lasan dan kemunduran elektroda, gas pelindung harus dapat mencegah pengotor dari atmosfer pada lasan dan tidak bereaksi pada lelehan atau mengeringkan *weld metal* atau elektroda tungsten. Berikut merupakan tipe gas pelindung yang digunakan untuk GTAW:

- Argon, paling banyak digunakan
- Helium, dapat memberikan penetrasi dan *heat input* yang lebih baik. Gas ini lebih mahal dari argon, karena terkadang menggunakan campuran 5% He dan 95% Ar untuk pengelasan *stainless steel*.

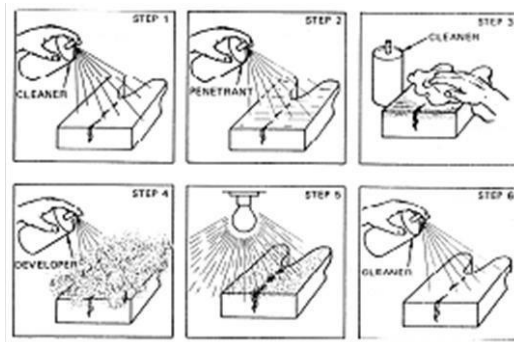


2.9.3 Filler Metal

Filler metal merupakan material yang di tambahkan dengan tujuan untuk mengisi ruang diantara dua logam yang akan di sambung. *Filler metal* yang paling banyak digunakan dalam proses pengelasan, yaitu *welding rods* dan *welding electrodes*. filler yang digunakan pada penelitian kali ini adalah **AWS ER CrNiMo3**.

2.10 Non Destructive Testing

Non Destructive Testing (NDT) merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui kecacatan yang terjadi pada suatu material, salah satu contohnya adalah daerah lasan. Daerah lasan dapat mengalami kecacatan akibat pengelasan yang tidak sempurna. Berikut merupakan salah satu metode NDT yaitu *Liquid Dye Penetrant Testing* atau yang biasa disebut dengan *penetran*. Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan dan paling mudah Metode ini dapat mendeteksi ketidaksinambungan di permukaan pada material yang tidak berpori. Berikut merupakan prinsip dasar metode ini



Gambar 2.9 Metode *liquid penetrant test* (Radiant)



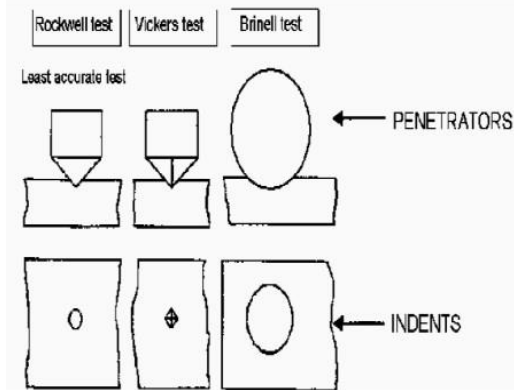
Tahap pertama menunjukkan objek uji yang harus dibersihkan dengan menggunakan *cleaner* dan dikeringkan secara menyeluruh. Kemudian cairan *penetrant* disemprotkan dan dibiarkan beberapa waktu (*dwell time*). Setelah dirasa cukup, cairan dibersihkan dan diberikan *developer*. Pada saat *developer* ini disemprotkan, bagian yang cacat akan terlihat. Hal ini dikarenakan pada saat *penetrant*, bagian yang memiliki kecacatan akan menyerap cairan tersebut dan *developer* akan menarik cairan tersebut hingga terlihat cacat yang dapat terjadi.

2.11 Pengujian Mekanik

Pengujian mekanik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik yang dimiliki suatu material. Terdapat berbagai macam pengujian sifat mekanik untuk material, namun pada penelitian ini yang digunakan adalah uji kekerasan.

2.11.1 Pengujian Kekerasan

Kekerasan pada umumnya, menyatakan ketahanan terhadap indentasi dan untuk logam dengan sifat tersebut merupakan ukuran ketahanannya terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Nilai kekerasan dapat diketahui dengan beberapa metode diantaranya *Rockwell test*, *brinell test* dan *Vickers test*. Yang membedakan antara ketiga metodetersebut adalah indenter dan bebannya. Perbandingan indenter tersebut dapat dilihat pada gambar 2.10. Pada penelitian ini, metode uji kekerasan yang digunakan adalah Vickers.



Gambar 2.10 Penggunaan indenter pada masing-masing pengujian kekerasan (Dieter, 1988)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa indenter yang digunakan pada *rockwell test* berupa kerucut intan, sementara *brinell test* indenternya berupa bola baja, dan *vickers test* berupa intan yang cukup kecil dan mempunyai geometri seperti piramid.

- Brinell

Uji kekerasan brinell berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan memakai bola baja berdiameter 10 mm dan diberi beban 3000 kg. Untuk bahan lunak, beban dikurangi hingga 500 kg agar tidak terjadi jejak yang terlalu dalam. Sementara untuk bahan yang keras, menggunakan karbida tungsten untuk memperkecil terjadinya distorsi indenter.



- Vickers

Uji kekerasan vickers menggunakan indentor yang berupa piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramid ang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola. Berikut merupakan perhitungan pengujian kekerasan Vickers

- Rockwell

Uji kekerasan rockwell menggunakan kedalaman indentasi pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Mula-mula diterapkan beban kecil sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Hal ini akan memperkecil jumlah preparasi permukaan yang dibutuhkan serta memperkecil kecenderungan untuk terjadi penumbukan ke atas.

2.12 Pengujian Visual

Pengujian visual dapat dilakukan dengan mata terbuka atau pun dengan bantuan mikroskop optik. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian visual secara makroskopik dan mikroskopik.

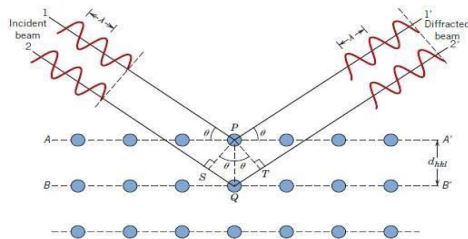
2.13 X-Ray Diffraction

X-Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk analisis pengujian fasa atau senyawa pada material dan juga karakterisasi kristal. Prinsip XRD adalah mendifraksi cahaya yang datang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau Kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar



atom, yaitu sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang digunakan beruparadiasi sinar-X, elektron, dan neutron (Thermo ARL, 1999).

Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Hukum Bragg merumuskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi (Thermo ARL, 1999).



Gambar 2.11 Ilustrasi Difraksi Sinar-X pada XRD (Thermo ARL, 1999)

2.14 Pengamatan Mikro

Metalografi merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui struktur mikro dari suatu material. Di dalam



pengujian ini terdapat istilah-istilah seperti ferrit, perlit, serta austenit, yang merupakan fasa yang terbentuk pada suatu material. Ada beberapa tahapan yang harus diperlukan pada pengujian metalografi ini, yaitu:

- a. Cutting; pemotongan spesimen sesuai dengan dimensi yang dibutuhkan.
- b. Mounting; dilakukan untuk mempermudah pemegangan spesimen saat proses grinding
- c. Grinding; dilakukan dengan amplas silikon karbida mulai dari grade 80 hingga 2000. Sehingga akan diperoleh permukaan yang halus.
- d. Polishing; dilakukan dengan pasta alumina dengan tujuan untuk memastikan tidak ada goresan pada permukaan
- e. Etching; dengan menggunakan larutan tertentu yang sesuai dengan standar. Proses ini bertujuan untuk mengkorosikan batas butir
- f. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik

(ASM International, 2004)



2.15 Penelitian Sebelumnya

2.15.1 Nilai kekerasan pada pengelasan austenitic stainless steel menggunakan metode GTAW

Menurut hasil penelitian dari Ary setiawan yang melakukan pengelasan pada austenitic stainless steel menggunakan metode GTAW, menunjukkan bahwa nilai kekerasan yang di dapat sebagai berikut :

Tabel 2.6. Hasil uji kekerasan austenitic stainless steel oleh Ary setiawa

Voltase	Arus	Las	HAZ	Logam Induk
10	50	156.6	181.2	150.0
10	100	156.6	164.5	150.0
10	160	164.5	167.0	150.0

Menurut hasil penelitian dari Fadhil Muhammad yang melakukan pengelasan pada austenitic stainless steel menggnuakan metode GTAW,menunjukan bahwa nilai kekerasan yang di dapat sebagai berikut:

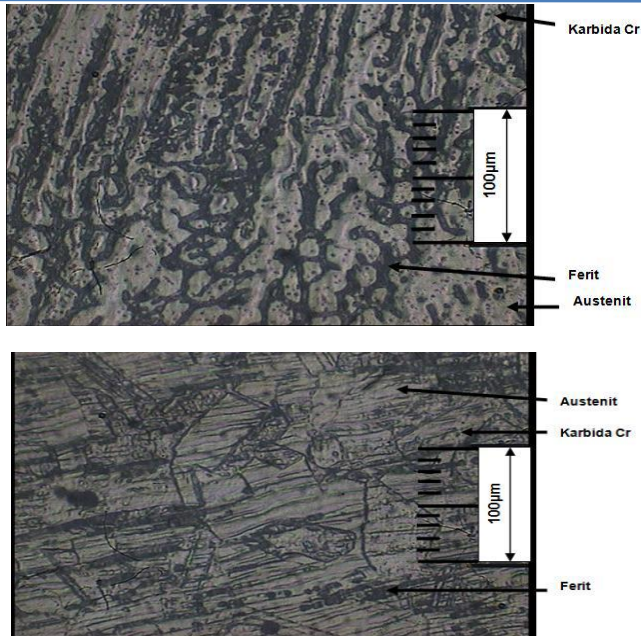


Tabel 2.7. Hasil uji kekerasan austenitic stainless steel oleh Fadhil Muhammad

Vo ltase	Arus	Las	HAZ	Logam Induk
12	80	273	242	213
13	100	256	229	200
15	120	229	223	185

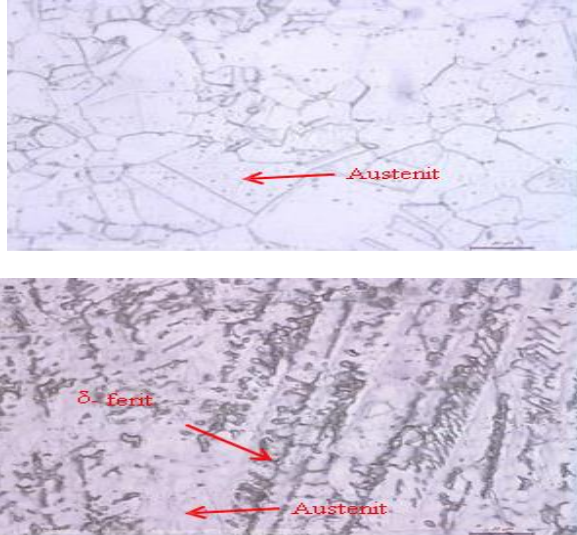
2.15.2 Pengamatan mikroskopik pada pengelasan austenitic stainless steel menggunakan metode GTAW

Menurut hasil penelitian dari Ary setiawan yang melakukan pengelasan pada austenitic stainless steel menggunakan metode GTAW,menunjukan bahwa hasil pengamatan mikroskopik pada material austenitic stainless steel:



Gambar 2.12 Microstructure pada austenitic stainless steel pengelasan metode GTAW oleh Ary Setiawan

Menurut hasil penelitian dari Fadhil Muhammad yang melakukan pengelasan pada austenitic stainless steel menggunakan metode GTAW, menunjukkan bahwa hasil pengamatan mikroskopik pada material austenitic stainless steel:



Gambar 2.13 Microstructure pada austenitic stainless steel pengelasan metode GTAW oleh Fadhil Muhammad

2.15.3 Nilai kekerasan pada pengelasan SA 266 GR2N Inconel 625 menggunakan metode GTAW

Menurut hasil penelitian dari PT.PAL yang melakukan pengelasan pada SA 266 GR2N Inconel 625 menggunakan metode GTAW, menunjukkan bahwa nilai kekerasan yang di dapat pada table 2.8 berikut :

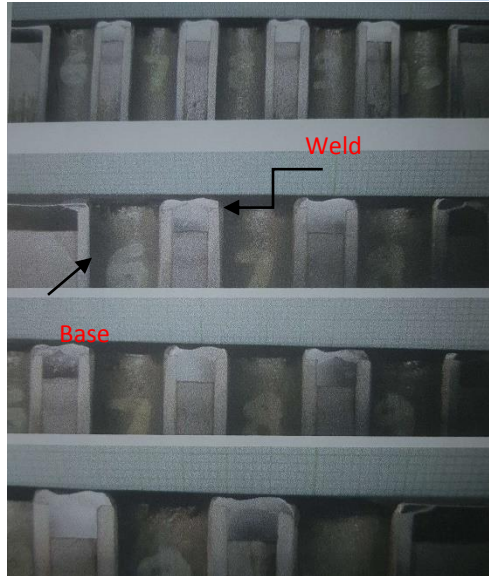


Tabel 2.8. Hasil uji kekerasan SA 266 GR2N Inconel 625 oleh PT.PAL

Voltase	Arus	Las	HAZ clad ding	Logam Induk cladding	HAZ tube	Logam induk tube
12	70	330	361	345	368	348

2.15.4 Pengamatan makroskopik pada pengelasan SA 266 GR2N Inconel 625 menggunakan metode GTAW

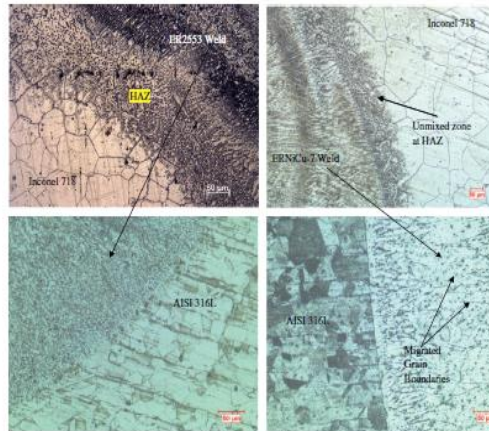
Menurut hasil penelitian dari PT.PAL yang melakukan pengelasan pada SA 266 GR2N Inconel 625 menggunakan metode GTAW, gambar 2.12 menunjukkan bahwa hasil pengamatan makroskopik pada SA 266 GR2N Inconel 625:



Gambar 2.14 Macrostructure pada austenitic stainless steel pengelasan metode GTAW

2.15.5 Pengamatan mikrosoptik pada pengelasan inconel 718 dengan stainless steel menggunakan metode GTAW

Menurut hasil penelitian dari jurnal K. Devendranath Ramkumar dengan judul Influence of filler metals and welding techniques on the structure–property relationships of Inconel 718 and AISI 316L di dapat kan kesimpulan dengan hasil mikrosoptik pada gambar 2.13.Studi mikro menunjukkan adanya fase secondary sebagai zona tidak tercampur pada HAZ dari Inconel 718 untuk kedua filler.



Gambar 2.15 Microsopic pada inconel 718 dengan stainless steel pengelasan metode GTAW oleh K. Devendranath Ramkumar



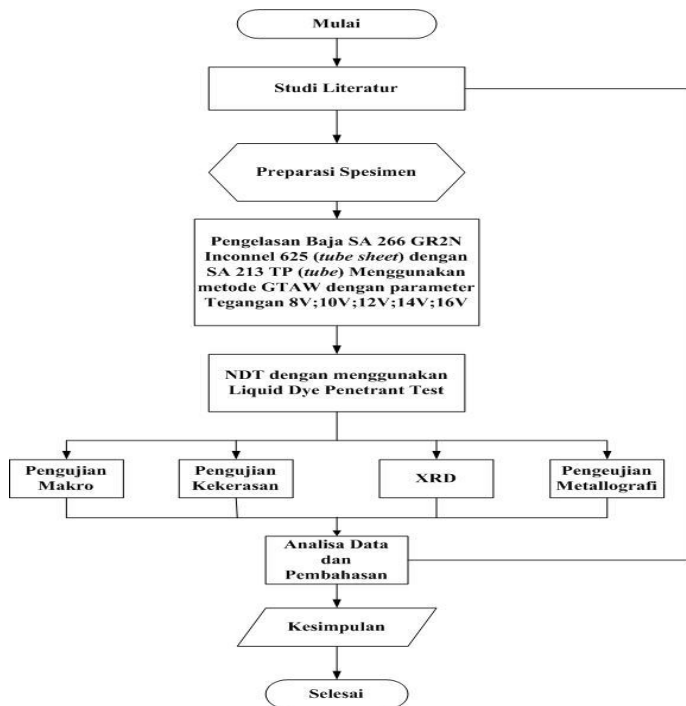
(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan berdasarkan alur yang ditunjukkan pada gambar 3.1 di bawah ini



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan



3.2 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian adalah seperti yang tertera pada tabel 3.1 berikut ini

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian

Material	Parameter	Uji Makro	Uji Hardness	Metalografi
SA 266 GR2N Inconel (<i>tubesh eet</i>) dengan SA 213 TP 304 (<i>tube</i>)	8.5V	V	V	V
	10.5 V	V	V	V
	12.3 V	V	V	V
	14.4 V	V	V	V
	16.2 V	V	V	V

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini antara lain dengan studi lapangan, studi literatur dan pengujian. Studi lapangan mengacu pada pencarian informasi terkait komponen yang akan diteliti beserta kondisi operasi komponen. Studi literatur yang mengacu pada *handbook*, buku penunjang, standar internasional, dan jurnal penelitian. Pengujian yang dilakukan adalah uji tarik, uji kekerasan, dan metalografi



3.4 Bahan Penelitian

3.4.1 Material Uji

Material uji yang di gunakan dalam penelitian ini ada2 macam yaitu:

1. SA 266 GR2N (*tubesheet*)

Tabel 3.2 Chemical composition SA 266 GR2N

Chemical composition						
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.19	0.24	0.99	0.012	0.001	0.011	0.026

2. SA 213 TP 304 (*tube*)

Tabel 3.3 Chemical composition SA 213 TP 304

Chemical composition						
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.021	0.35	1.23	0.032	0.003	8.04	18.24

Dengan dimensi sebagai berikut :

Diameter : 15.875 mm

Panjang : 90 mm

3.4.2 Elektroda

Elektroda yang di gunakan dalam proses pengelasan ini adalah AWS ERNiCrMo-3 dengan diameter 1.14 mm



Tabel 3.4 Chemical Composition Elektroda

Chemical composition						
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.05	0.50	0.50	0.015	0.015	60	20

Ukuran filler Metal: D: 1.14

Range Voltage= 18V-28V

3.4.3 Gas Pelindung

Gas Argon yang digunakan pada penelitian ini menggunakan gas argon dengan kemurnian 100%.

3.4.4 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antarlain:

1. Penggaris
Digunakan untuk mengukur spesimen
2. Kamera
Digunakan untuk mendokumentasikan kegiatan penelitian
3. Alat Pemotong
Digunakan untuk memotong spesimen
4. Mesin Las GTAW
Digunakan untuk mengelas spesimen
5. Mesin grinding dan polishing
Digunakan untuk preparasi specimen metalografi
6. Amplas grade 80 –2000
Digunakan untuk preparasi specimen metallografi
7. Gerinda
Digunakan untuk preparasi spesimen metalografi dan kekerasan



8. Larutan Etsa *Glyceria*
Digunakan untuk mengetsa specimen metalografi
9. Mesin Bor
Digunakan untuk melakukan melubangi specimen
10. Mesin Uji Kekerasan
Digunakan untuk melakukan uji kekerasan
11. Alat XRD
Digunakan untuk melihat struktur Kristal dan fase fase yang terbentuk
12. Mikroskop Optik
Digunakan untuk melakukan uji metalografi
13. Air
Digunakan untuk mendinginkan specimen secara cepat
14. Liquid Dye Penetrant Testing
Digunakan untuk memeriksa cacat las

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Parameter Pengelasan

Untuk mendapatkan kualitas hasil pengelasan yang diharapkan, maka digunakan parameter pengelasan yang mengacu pada WPS dari PT.PAL Indonesia sebagai berikut.



Tabel 3.5 Parameter Pengelasan

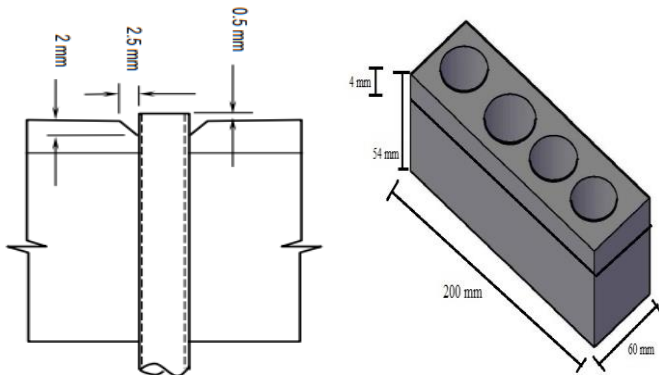
Material	Kode	Volt (V)	Arus (A)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (J/mm)	Gas shield	Type Polarity
SA 266 GR2N Inconel(<i>tube sheet</i>) dengan SA 213 TP 304 (<i>tube</i>)	A	8.5	70	60	357	Argon	DCEP
	B	10.5	70	60	441		
	C	12.3	70	60	516.6		
	D	14.4	70	60	604.8		
	E	16.2	70	60	680.4		

3.5.2 Preparasi Material

Preparasi awal material SA 266 GR2N Inconel (tube sheet) dengan cara melakukan pengeboran sebanyak 5 lubang berdiameter 22.00 mm. Persiapan akhir sebelum dilakukan proses pengelasan adalah pembersihan permukaan daerah las.



Gambar 3.2 Lubang untuk pengelasan



Gambar 3.3 Gambar Penampang Spesimen



Dengan dimensi sebagai berikut :

Tebal : 54 mm

Lebar : 200 mm

Panjang : 60 mm

Kedalaman Groove: 2 mm

Diameter luar Tube : 14,4 mm

Tebal Cladding : 4 mm

3.5.3 Pengelasan GTAW

Langkah-langkah dalam melakukan proses pengelasan GTAW ini adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan mesin las GTAW
2. Mempersiapkan Benda kerja yang akan di las
3. Posisi pengelasan dilakukan dengan posisi pengelasan vertical 3g
4. Meletakkan specimen pengelasan pada *backing plate* untuk di lakukan proses pengelasan
5. Mempersiapkan elektroda dan gas Argon
6. Mengatur arus dan tegangan sesuai dengan spesifikasi parameter yang diinginkan
7. Melakukan proses pengelasan setelah semua persiapan telah dilakukan

3.5.4 Liquid Dye Penetrant Testing

Setelah dilakukan pendinginan secara cepat yang dibantu blower, dilakukan *non destructive test* (NDT) dengan menggunakan metode *Liquid Dye Penetrant Testing* untuk mendeteksi adanya cacat, retak atau *discontinuity*. *Liquid Dye Penetrant Test* dilakukan berdasarkan pada ASM Metal Handbook vol 17. Tahapan-tahapan yang perlu dilakukan dalam melakukan liquid penetrant test adalah:



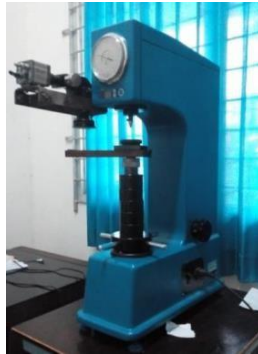
1. Membersihkan speimen dengan *cleaner*
2. Menyemprotkan cairan *red dye penetrant* dan membiarkannya beberapa menit
3. Membersihkan *penetrant* dengan menggunakan kain lalu kemudian bersihkan kembali dengan *cleaner*
4. Menyemprotkan *developer* dan membiarkannya beberapa saat
5. Memeriksa apakah terbentuk cacat atau tidak

3.6 Proses pengujian

Proses pengujian yang dilakukan dalam perobaan ini meliputi uji kekerasan (*hardness*), uji metallografi dan uji makro

3.6.1 Uji Kekerasan (*hardnes*)

Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan di daerah *base metal*, *heat affected zone (HAZ)*, dan *weld metal*. Standar pengujian kekerasan yang digunakan adalah dengan metode vickers yang berdasarkan ASTM E 92. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 5 A* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS.



Gambar 3.4. Alat Uji Kekerasan

Berikut merupakan prosedur pengujian uji kekerasan

1. Mempersiapkan spesimen sesuai dengan standart
2. Mempersiapkan peralatan pengujian *hardness*, untuk pengujian yang akan dilakukan 3 titik pengujian pada cladding material, 3 titik pada HAZ cladding material, 3 titik pada weld metal, 3 titik pada tube material, dan 3 titik pada HAZ tube material
3. Pengujian dilakukan pada posisi top, center dan bottom
4. Meletakkan material uji pada meja kerja, menekan indenter pada masing – masing lokasi yang diinginkan pada masing– masing spesimen dengan beban yang ditentukan sesuai standar
5. *Indenter* diletakkan pada tempat yang akan



diuji kekerasannya dengan cara menarik handle yang ada di samping mesin. *Handle* dilepas, sehingga *indentor* akan menekan spesimen dengan dwell time 10 detik

6. Mencatat hasil pengukuran.

3.6.2 Pengujian XRD

Senyawa yang terdapat pada material diidentifikasi dengan alat XRD PAN *analytical*.



Gambar 3.5 Mesin XRD PAN *analytical*

3.6.3 Pengamatan XRD

Karakterisasi difraksi Sinar-X (XRD) dilakukan menggunakan alat *Pan Analytical XRD* dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Teknik Material dan Metalurgi. Karakterisasi ini dilakukan untuk melihat struktur Kristal dan fase-fase yang terbentuk. Tujuan dilakukannya pengujian analisis struktur Kristal adalah untuk mengetahui perubahan



fase struktur bahan dan mengetahui fase-fase apa saja yang terbentuk selama proses pembuatan sampel uji.

Tahap pertama yang dilakukan dalam analisa sinar-X adalah melakukan analisa pemeriksaan terhadap sampel yang belum diketahui strukturnya. Sampel ditempatkan pada titik focus hamburan sinar-X yaitu tepat di tengah-tengah *plate* yang digunakan sebagai wadah yaitu sebuah plat tipis yang berlubang di tengah berukuran sesuai dengan sampel dengan perekat pada sisi baliknya.

3.6.4 Uji metallografi dan makro etsa

Pada pengujian metallografi ini bertujuan untuk mengetahui fasa, bentuk dan ukuran struktur mikro pada daerah *heat affected zone* dan *weld metal* nya. Selain itu juga untuk memprediksikan transformasi yang terjadi selama proses pengelasan atau pun perlakuan panas. Pengujian ini menggunakan standar ASM Volume 09 dengan tahapan sebagai berikut ini:

A. Tahap Preparasi

1. Cutting : Pemotongan specimen dilakukan dengan menggunakan gergaji mesin/manual
2. Mounting : Membuat pegangan untuk mempermudah pemegangan specimen saat proses grinding
3. Mounting : Membuat pegangan untuk mempermudah pemegangan specimen saat proses grinding
4. Polishing: Memoles spesimen dengan pasta alumina dengan tujuan untuk memastikan tidak ada goresan pada permukaan.
5. Etching: Mencelupkan permukaan specimen kedalam larutan etsa. Larutan etsa yang digunakan adalah Glycergia dan aqua regia



B. Tahap Pengamatan

Tahap pengamatan dilakukan untuk mengamati struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan dilakukan dengan beberapa kali perbesaran. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS dengan menggunakan mikroskop optik *OlympusBX51M-RF*.



Gambar 3.6. Mikroskop Optik



(Halaman ini sengaja di kosongkan)

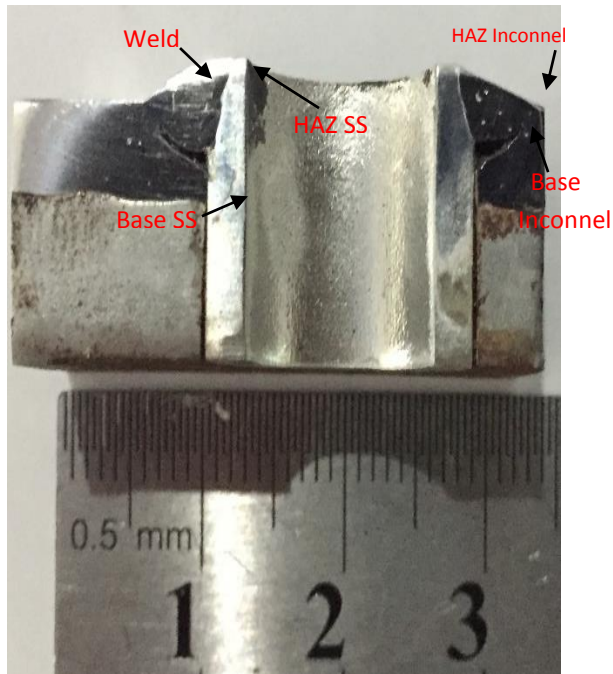
BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

4.1.1 Pengamatan Visual

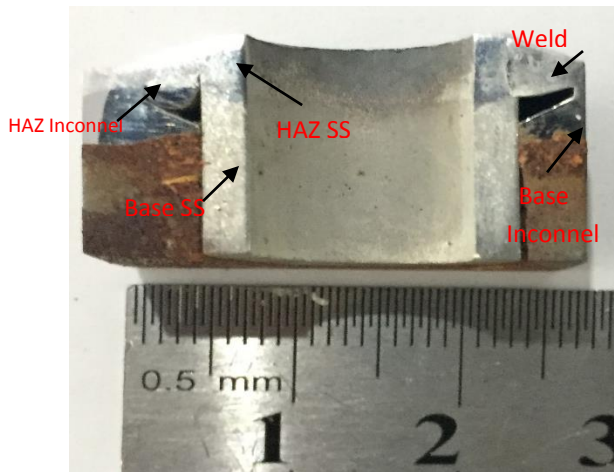
Dari hasil foto makro, didapatkan daerah lasan pada spesimen seperti *base metal*, *weld metal*, dan HAZ.. Hasil pengamatan visual secara makro adalah sebagai berikut



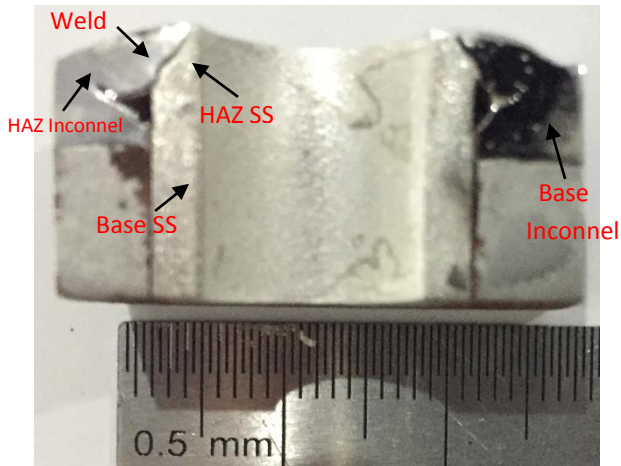
Gambar 4.1. Hasil foto makro sepesimen



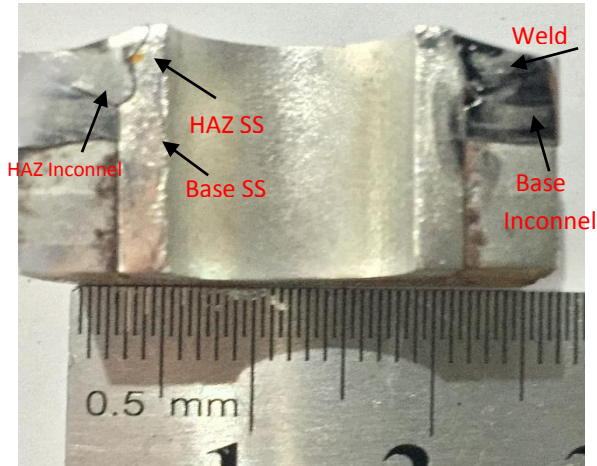
Parameter 8.5 v



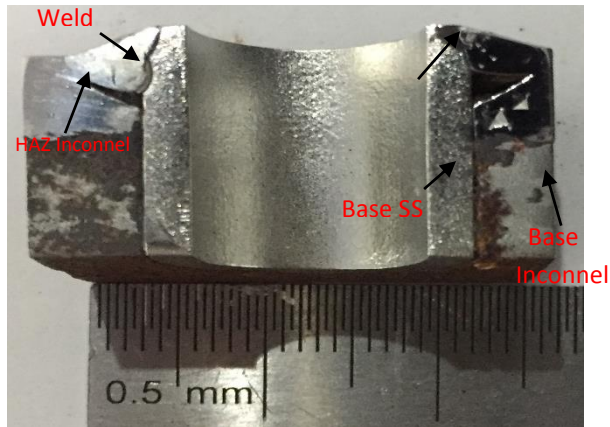
Gambar 4.2. Hasil foto makro sepesimen parameter 10.5 v



Gambar 4.3. Hasil foto makro sepesimen parameter 12.3 v



Gambar 4.4. Hasil foto makro sepesimen parameter 14.4 v



Gambar 4.5. Hasil foto makro sepesimen parameter 16.2 v

Pengamatan secara makro ini dilakukan dengan etsa glycergia. Pada gambar di atas haya terlihat batas antara *weld metal* dan *base metal*, Bentuk dan lebar



HAZ pada umumnya dipengaruhi oleh besarnya *heat input* yang diberikan dan kecepatan pengelasan. Untuk mengetahui lebar HAZ yang terbentuk harus melalui perhitungan dari data-data yang diperoleh.

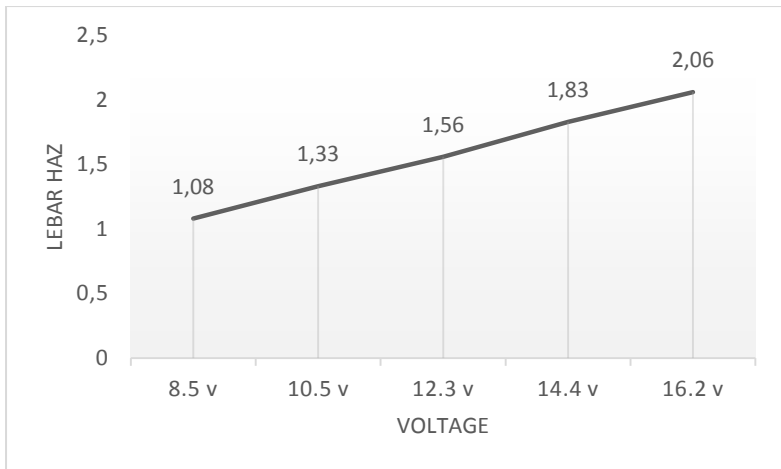
4.1.2 Perhitungan Lebar HAZ

Berdasarkan hasil dari pemberian *heat input* pada saat pengelasan, didapatkan lebar HAZ sebagai berikut:

Tabel 4.1. Perhitungan Lebar HAZ

Material	Tegangan (v)	Heat Input (J/mm)	Lebar HAZ (mm)
SA 266 Gr 2N <i>with</i> Clad Inconel 625 (<i>Tube Sheet</i>) dengan SA 213 TP 304 (<i>Tube</i>)	8.5 V	357	1.08
	10.5 V	441	1.33
	12.3 V	516.6	1.56
	14.4 V	604.8	1.83
	16.2 V	680.4	2.06

Dari data tersebut diplot menjadi grafik sebagai berikut:

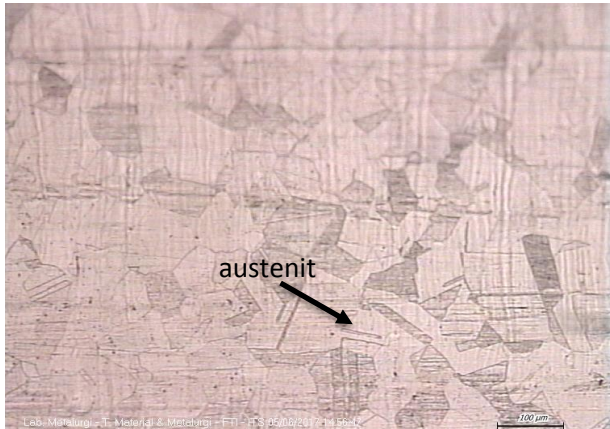


Gambar 4. 6. Perbandingan lebar HAZ

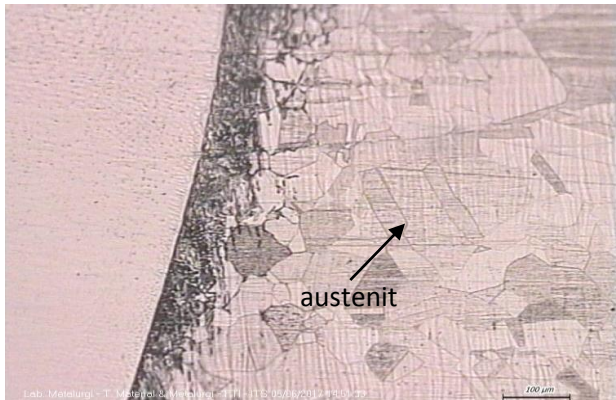
Dari table 4.1 didapatkan perhitungan lebar HAZ yang menunjukkan bahwa semakin besar *heat input* dengan parameter variasi tegangan maka HAZ juga mengalami peningkatan.

4.1.3 Pengamatan Struktur Mikro

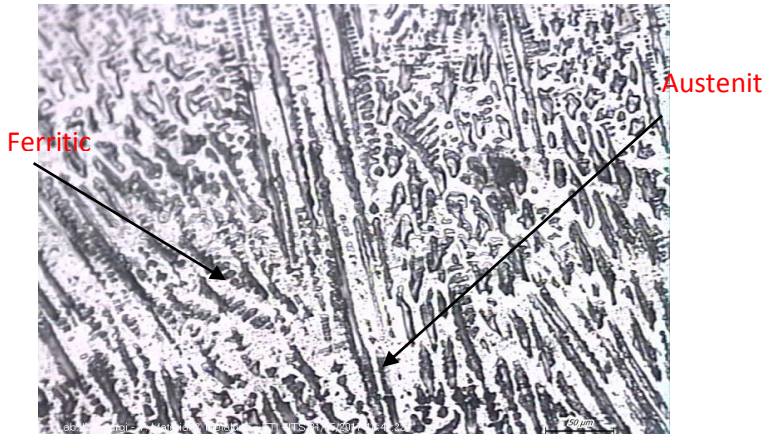
Pengamatan struktur mikro ini dilakukan pada ketiga daerah, yakni *base metal*, *weld metal*, dan *fusion line* yang ditunjukkan pada gambar 4.12. samapi dengan gambar 4.34.



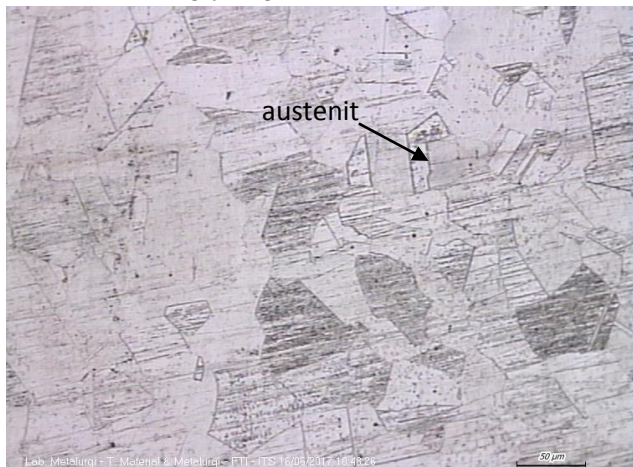
Gambar 4.7 Hasil struktur mikro *base metal Stainless steel* dengan parameter 8.5 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa glycergia selama 20-25 detik



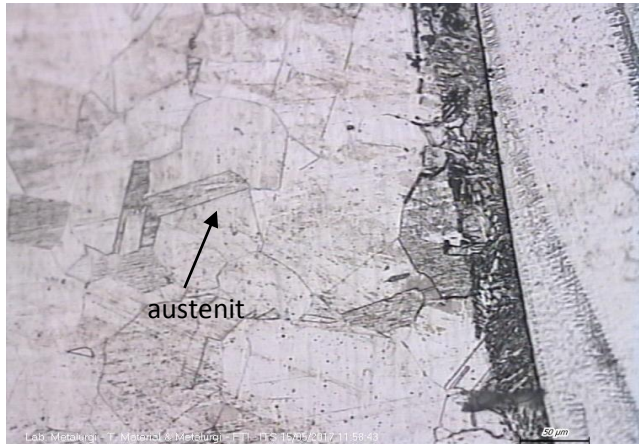
Gambar 4.8 Hasil struktur mikro *fusion line Stainless steel* pengelasan dengan parameter 8.5 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa glycergia selama 20-25 detik



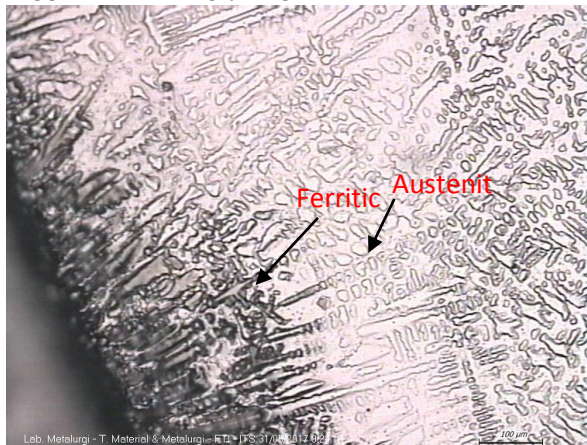
Gambar 4.9 Hasil struktur mikro *weld metal* dengan parameter 8.5 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa acetid glycergia selama 2-3 menit



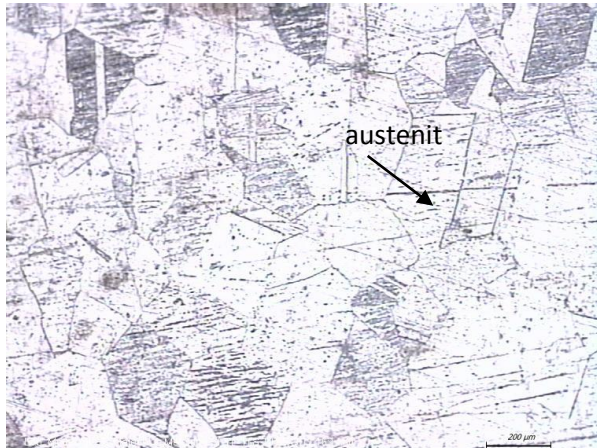
Gambar 4.10 Hasil struktur mikro *base metal Stainless steel* dengan parameter 10.5 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa glycergia selama 20-25 detik



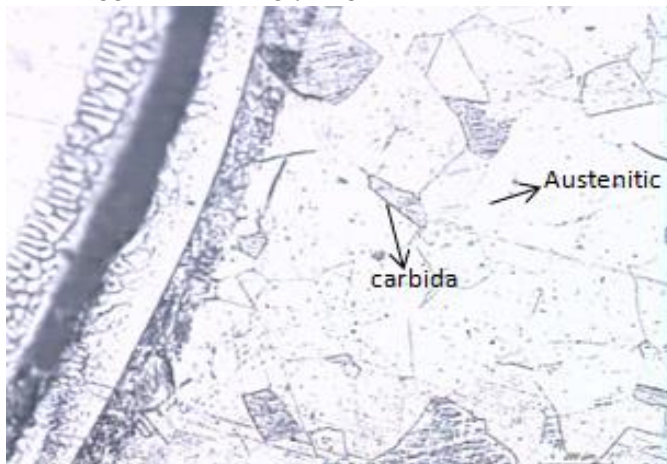
Gambar 4.11 Hasil struktur mikro *Fusion line Stainless steel* dengan parameter 10.5 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa glycergia selama 20-25 detik



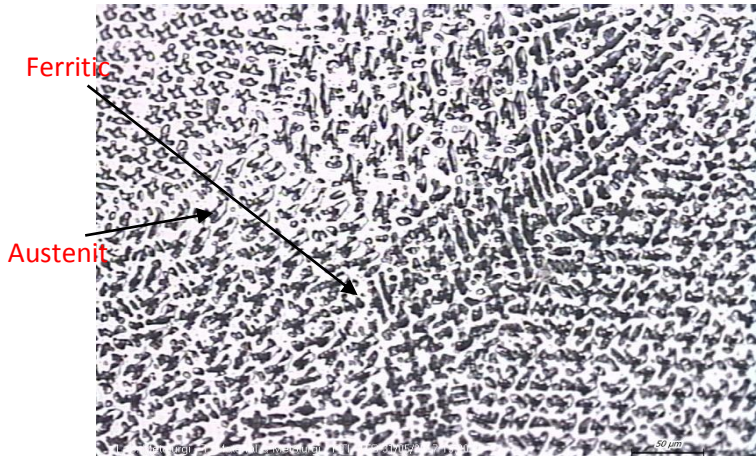
Gambar 4.12 Hasil struktur mikro *weld metal* dengan parameter 10.5 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa acetid glycergia selama 2-3 menit



Gambar 4.13. Hasil struktur mikro *base metal Stainless steel* dengan parameter 12.3 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa glycergia selama 20-25 detik



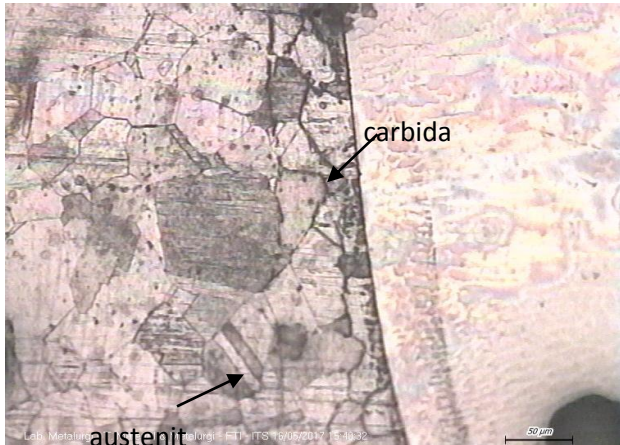
Gambar 4.14 Hasil struktur mikro *fusion line Stainless steel* dengan parameter 12.3 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa glycergia selama 20-25 detik



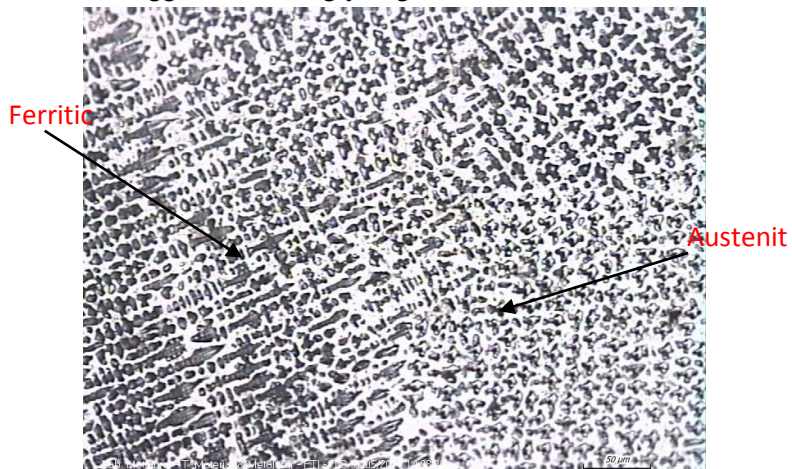
Gambar 4.15 Hasil struktur mikro *weld metal* dengan parameter 12.3 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa acetid glycergia selama 2-3 menit



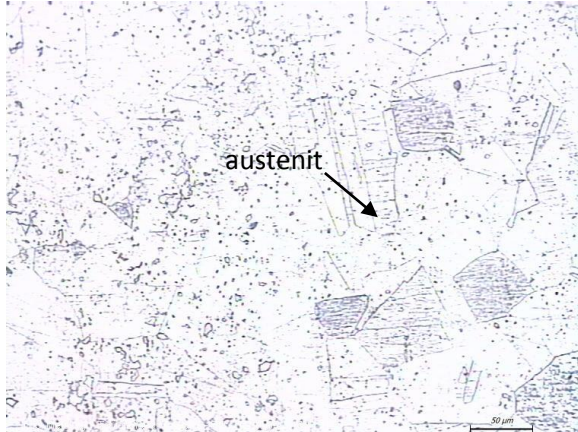
Gambar 4.16 Hasil struktur mikro *base metal Stainless steel* dengan parameter 14.4 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa glycergia selama 20-25 detik



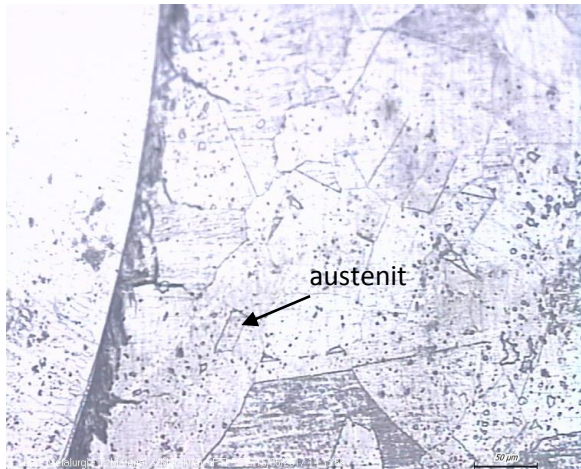
Gambar 4.17 Hasil struktur mikro *fusion line* *Stainless steel* dengan parameter 14.4 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa glycergia selama 20-25 detik



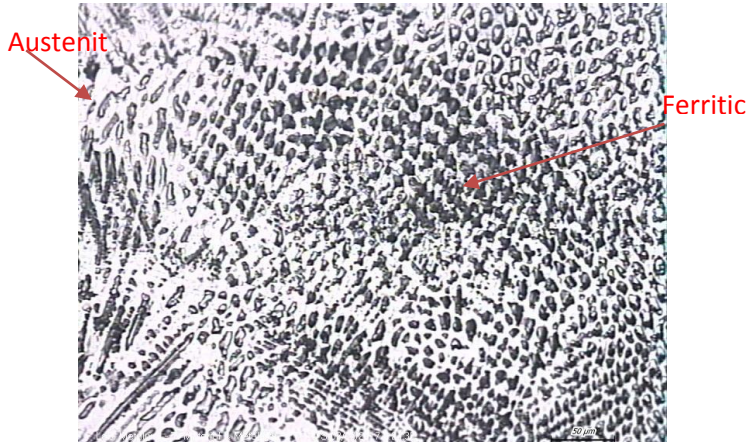
Gambar 4.18 Hasil struktur mikro *weld metal* dengan parameter 14.4 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa acetid glycergia selama 2-3 menit



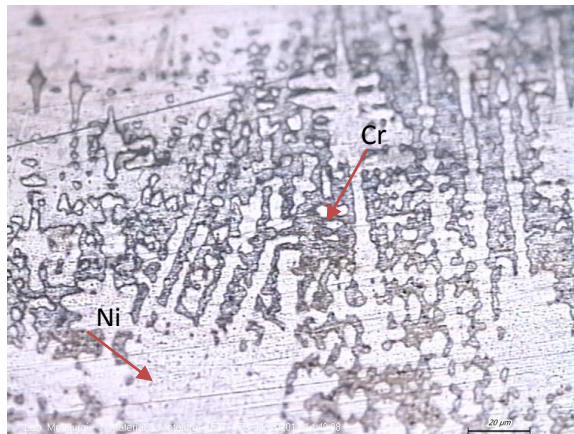
Gambar 4.19. Hasil struktur mikro *base metal Stainless steel* dengan parameter 16.2 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa glycergia selama 20-25 detik



Gambar 4.20 Hasil struktur mikro *fusion line Stainless steel* dengan parameter 16.2 v perbesaran 500 kali menggunakan etsa glycergia selama 20-25 detik



Gambar 4.21 Hasil struktur mikro *weld metal* dengan parameter 16.2 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa acetid glycergia selama 2-3 menit



Gambar 4.22 Hasil struktur mikro *base metal* inconel dengan parameter 10.5 v perbesaran 200 kali menggunakan etsa acetid glycergia selama 5 menit



Dari gambar hasil pengujian diatas dapat dilihat pada parameter 8.5-16.2 v terdapat fasa full austenite akan tetapi pada mikrostruktur pengelasan dengan menggunakan parameter 12.3 v dan 14.4 hasil yang di dapatkan mikrostruktur ternyata muncul persipitat karbida pada parameter tersebut.

4.1.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode Vickers dengan pembebanan 5kg. Pengambilan data diambil di 5 daerah dengan masing-masing 3 titik indentasi, daerah yang dimaksud adalah *base metal SS*, *base metal Inconel*, *weld metal*, *HAZ SS* dan *HAZ inconel*. Berikut adalah nilai rata-rata distribusi kekerasan di tiap daerah indentasi yang tertera pada tabel berikut

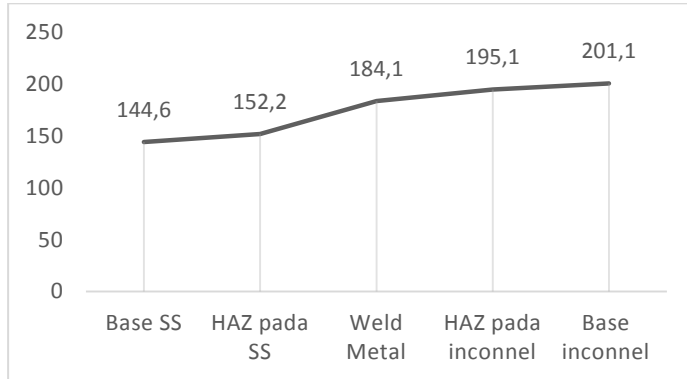
Tabel 4. 2. Hasil pengujian kekerasan

Material	Tegangan	Material SS	HAZ pada SS	Weld Metal	HAZ pada inconel	Material inconel
SA 266 Gr 2N with Clad Inconel 625 (Tube Sheet) dengan SA 213 TP 304 (Tube)	8.5 v	144.6	152.2	184.1	195.1	201.1
	10.5v	154	170.3	185.3	207.4	210.8
	12.3v	156.3	180.8	198.8	202.7	209
	14.4v	149.4	172.4	201.8	206.1	210.8
	16.2v	151.1	180.2	202.7	212.1	210.2

Dari data tersebut dapat diplot menjadi grafik:

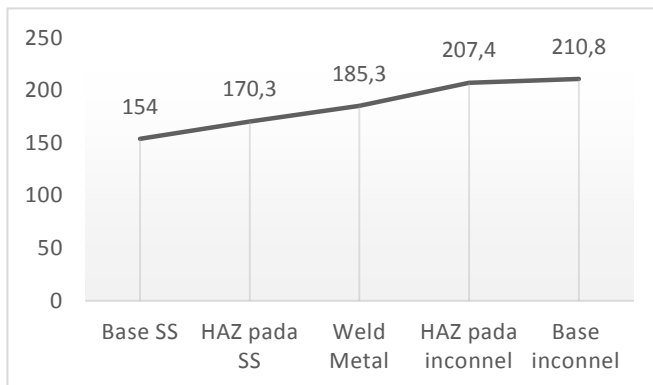


VHN



Gambar 4.23 Nilai kekerasan pada parameter 8.5 v

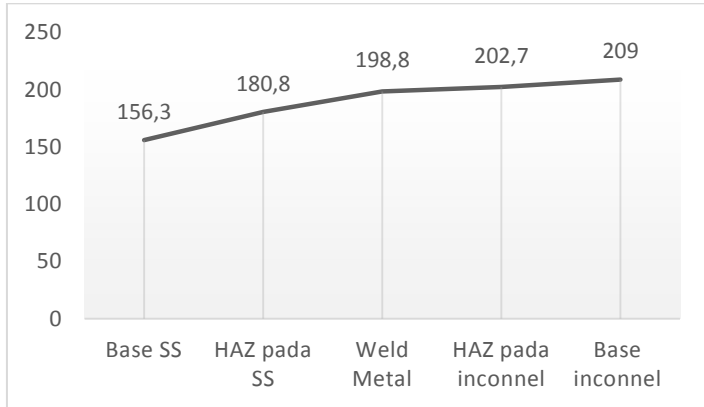
VHN



Gambar 4.24 Nilai kekerasan pada parameter 10.5v

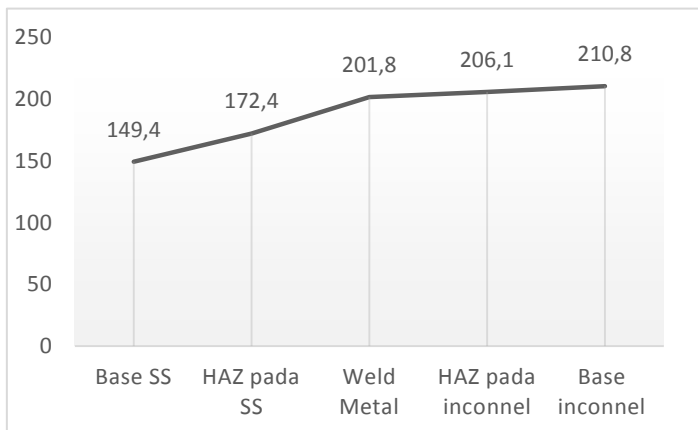


VHN

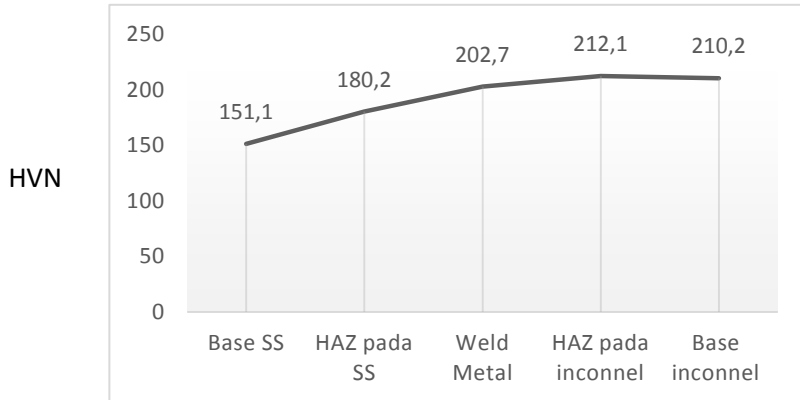


Gambar 4.25 Nilai kekerasan pada parameter 12.3 v

VHN



Gambar 4.26 Nilai kekerasan pada parameter 14.4 v

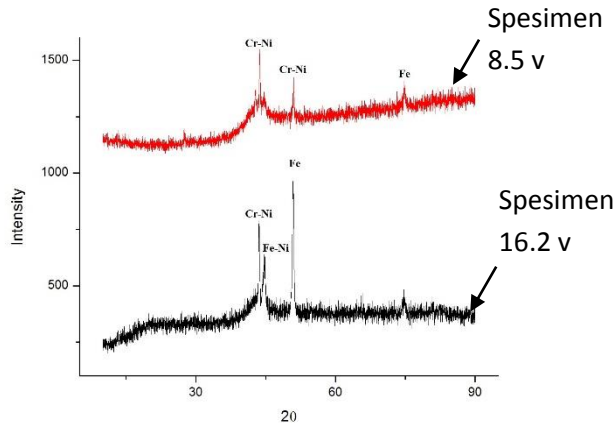


Gambar 4.27 Nilai kekerasan pada parameter
16.2 v

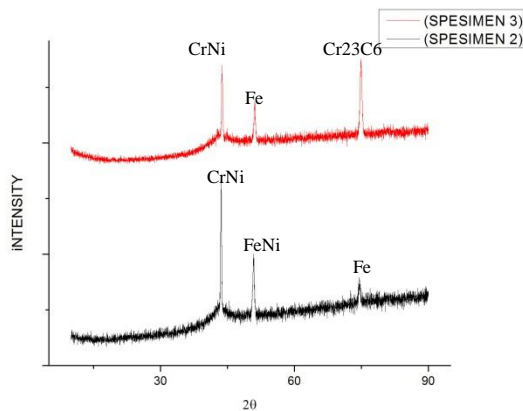
Pada gambar 4.7 sampai dengan gambar 4.11 menunjukkan hasil pengujian kekerasan pada material SA 266 Gr 2N *with* Clad Inconel 625 (*Tube Sheet*) dengan SA 213 TP 304 (*Tube*) dengan beberapa paramteter pengelasan. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi heat input maka nilai kekerasan pada HAZ Inconel dan HAZ pada SS mengalami peningkatan akan tetapi pada daerah base metal nilai kekerasanya tidak mengalami peningkatan ini di karenakan pada daerah base metal merupakan daerah yang tidak terkena panas sehingga tidak terjadi perubahan pada nilai kekerasan.



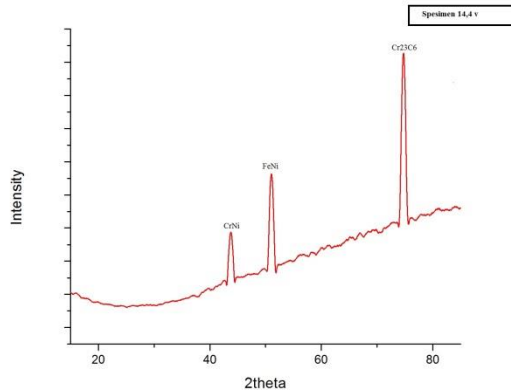
4.1.5 Pengujian XRD



Gambar 4.28 Hasil Pengujian XRD pada titik weld metal



Gambar 4.29 Hasil Pengujian XRD pada titik weld metal



Gambar 4.30 Hasil Pengujian XRD pada titik weld metal

Pada gambar 4.28 dan 4.29 adalah hasil dari pengujian XRD. Pada gambar 4.28 spesimen uji adalah spesimen 1 dan spesimen 5 dengan parameter 8.5 v dan 16.2 v pada titik weld metal. Peak tertinggi pada spesimen 1 adalah CrNi sedangkan pada spesimen 5 didapatkan peak tertinggi adalah Fe. Sedangkan pada gambar 4.29 hasil dari pengujian XRD spesimen 2 dan spesimen 3 dengan parameter pengujian 10.5 v dan 12.3 v. Peak tertinggi pada spesimen 2 adalah CrNi sedangkan pada spesimen 3 adalah CrNi tetapi pada spesimen 3 terdapat Cr₂C₆ (carbide) dan pada gambar 4.30 adalah spesimen 4 dengan parameter 14.4 v di lihat pada hasil xrd terdapat adanya Cr₂C₆.

4.2. Pembahasan

Hasil dari pengujian visual, daerah yang terlihat hanyalah *base metal* dan *weld metal*. Daerah HAZ dari kedua spesimen tidak begitu terlihat pada pengujian visual ini. Oleh karena itu, untuk mengetahui lebar HAZ yang dihasilkan



harus menggunakan perhitungan. Dari gambar 4.6. didapatkan semakin tingginya *heat input* yang diberikan, lebar HAZ semakin membesar. Hal ini disebabkan semakin tinggi masukan panas, elektroda semakin cepat cair dan menyebabkan daerah HAZ semakin melebar.

Dari hasil struktur mikro, didapatkan perbedaan struktur di antara daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada daerah base metal, didapatkan ukuran butir austenit yang kasar. Sementara pada daerah HAZ ukuran butir yang terbentuk lebih halus daripada daerah *base metal*. Hal ini dikarenakan daerah HAZ mendapatkan panas yang lebih tinggi dari pemberian *heat input* daripada daerah *base metal*. Pada base metal material SA 213 TP 304 parameter 8.5v pada gambar 4.8 tidak menunjukkan adanya presipitat karbida pada daerah austenite dan batas butir yang lebih luas akan tetapi pada parameter 12.3v (spesimen 3) dapat dilihat pada gambar 4.14 terbentuk persipitat karbida yang ditunjukkan dengan adanya penyempitan daerah austenite dan terlihat adanya penebalan pada daerah *grain boundary* di karenakan adanya penurunan kadar crom pada daerah dekat batas butir (Kocsisova, 2014), akan tetapi pada 16.2v daerah austenite dan *grain boundary* kembali normal ini Karena pada saat pengelasan pada parameter 12.3 v dan 14.4 v panas masuk (*heat input*) karena temperature melebihi daerah *chromium depleted zone* (gambar 2.4) maka cr akan terlepas dan di tangkap oleh carbon di sekitarnya sehingga terbentuk persipitat karbida. Pada weld metal didapatkan hasil strukturmikro eutectic ferrite ini terjadi karena adanya pembentukan delta ferrite pada daerah weld metal, perubahan dari logam cair menjadi padat pada weld metal ini



mengakibatkan strukturmikro dendritik pada daerah weld metal. Austenetik terbentuk melalui reaksi peritektik-eutektik dan terdapat pada batas solidifikasi akhir delta ferit akhir solidifikasi. Pada akhir solidifikasi delta ferit, reaksi peritektik-eutektik membentuk austenit sepanjang sel ferit dan batas dendrit. Ketika pendinginan selesai, struktur mikro terdiri dari dendrit feritik dan layer interdendritik austenit. Banyaknya austenit yang terbentuk tergantung pada kondisi pendinginan. (John C. Lippold)

Pada hasil pengujian kekerasan, didapatkan hasil bahwa daerah *base metal* memiliki nilai kekerasan yang rendah dibandingkan daerah *weld metal*. Nilai kekerasan pada *weld metal* tinggi dikarenakan oleh proses peleburan dari 3 material yang memiliki kekerasn yang berbeda (Inconel, SS304, ERNiCrMo-3), perambatan panas yang mengakibatkan adanya perubahan pada batas butir (*grain boundary*) dan peningkatan kekerasan yang dapat dilihat perbedaanya pada gambar 4.12 hingga 4.24. Sedangkan pada daerah HAZ memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari *base metal*. hal ini disebabkan oleh ukuran butir austenit yang lebih halus pada HAZ daripada daerah *base metal*. Dan semakin bertambahnya *heat input*, nilai kekerasannya semakin bertambah. Berdasarkan gambar 4.7. hingga 4.11. Material Inconel 625 memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari baja SS 304.

Pada hasil pengujian senyawa pada parameter 8.5 v dan 16.2 v menggunakan XRD, didapatkan hasil bahwa tidak ditemukan senyawa yang mengindikasikan adanya Cr₂C₆ (persipitat karbida). hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa terbentuk senyawa Fe, Cr-Ni dan Fe-Ni.

Setelah proses pengelasan maka dilakukan proses



pengecekan menggunakan *liquid penetrant testing*. proses ini telah dilakukan. Akan tetapi pada saat dilakukan pengecekan memang tidak terdapat cacat yang terbentuk di permukaan. Hal ini memang menjadi kekurangan metode LPT ini yang hanya mampu melakukan pengecekan di bagian permukaan.



(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari proses pengelasan didapatkan parameter optimal adalah 8,5 v dan 10,5v yang dapat ditinjau dari struktur mikro yang tidak terdapat cacat
2. Kenaikan *heat input* dengan parameter tegangan dapat mengakibatkan terjadinya persipitasi karbida pada *stainless steel*. Hal ini disebabkan oleh pada saat kenaikan pada temperature 600°C-800°C material akan masuk dalam zona sensitas dan menghasilkan persipitat karbida. Munculnya persipitat karbida ini disebabkan oleh terikatnya Cr dengan C yang menyebabkan penurunan kadar krom pada derah dekat batas butir, ditunjukkan dengan adanya penebalan batas butir.
3. Dari hasil uji kekerasan pada penelitian di dapatkan hasil bahwa kekerasan pada inconnel 625 yang lebih tinggi dari stainless steel 304.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Perubahan material SS menggunakan seri 304L atau 316 sangat di anjurkan karena adanya penambahan unsur lain agar dapat mengikat krom dengan adanya unsur lain.



(Halaman ini Sengaja Di Kosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. **ASTM A 213 Standard Specification for Seamless Ferritic and Austenitic Alloy-Steel Boiler, Superheater, and Heat-Exchanger Tubes.** Ohio: ASTM International
- _____. **ASTM A 266 Standard Specification for Carbon Steel Forgings for Pressure Vessel Components.** Ohio: ASTM International
- _____. **AWS Welding Handbook Volume 1 Ninth Edition: Welding science and Technology.** America: American Welding Society
- _____. **2004. ASM Metal Handbook Volume 9th Metallography and Microstructures.** Ohio: ASM International
- _____. **2007. Specially Steel Industry of North America.** Washington. 3050 K Street
- Atlas Steel. 2013. **Technical Handbook of Stainless Steel.** Atlas Steel Technical Departement
- Casoreli, Andrea. 2014. **Stainless Steel.** Milan: Lucefin
- DED. 2000. **Gas Tungsten Arc Welding Course.** Germany: German Development Service
- Dieter, George E. 1999. **Metalurgi Mekanik Edisi Ketiga Jilid I.** London: Mc Graw Hill.
- Farrar, R.A. 1996. **Microstructure and Phase Diagram in Duplex 316 Manual Arc Weld Metals; The Role of Carbon.** Hampshire: University of Southampton.
- Gakim, Miron. 2012. **Formation of Cr₂₃C₆ during the Sensitization of AISI 304 Stainless Steel and its Effect to Pitting Corrosion.** Malaka: Universiti Teknikal Malaysia Melaka
- Hosseini, Shah. 2011. **Characterization of microstructures and mechanical properties of Inconel 617/310 stainless steel dissimilar welds.** Iran: Isfahan University of Technology

- Hosni tamrin. 2016. **Perencanaan high pressure heater**. Surabaya: PT.PAL
- Khan, Md Ibrahim. 2007. **Welding Science and Technology**. Lucknow: New Age International Publisher
- Koscieova, Adina. 2014. **Study Of The Sensitization On The Grain Boundary In Austenitic Stainless Steel AISI 316**. Bratislava: Slovak University Of Technology
- Kou, Sindo. 2003. **Welding Metallurgy**. Wiley Interscience.
- Lippold, J.C. dan Kotecki D.J. 2005. **Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel**. Wiley Interscience.
- Mithilesh. 2013. **Investigations on Dissimilar Weldments of Inconel 625 and AISI 304**. India: School of Mechanical & Building Sciences
- Oberg, Erik., et al. 2012. **Machinery's Handbook 29th Edition**. New York: Industrial Press Inc.
- Outokompu. 2013. **Handbook of Stainless Steel**. Sweden: Outokompu.
- Sidney H. Avner. 1997. **Introduction To Physical Metallurgy**. New York. City University of New York
- Special metal. 2013. **Inconel 625**. Los angeles. POC company
- Sunandar, Arif Fisca. 2012. **Perbedaan Karakteristik Hasil Pengelasan GTAW dan SMAW Terhadap Baja Tahan Karat 316 L**. Jakarta: Universitas Indonesia
- Suwarno. 2005. **Investigasi Derajat Presipitasi Karbida Krom pada Baja Tahan Karat Austenitik terhadap Pengamatan Makro**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Thermo ARL. 1999. **Basics of X-Ray Diffraction**. Switzerland TQC. 2012. **Adhesion Testing Datasheet**. Netherlands.

Lampiran

Lampiran 1

Data Uji kekerasan

Table 1

Material	Tegangan	Material SS	HAZ pada SS	Weld Metal	HAZ pada inconnel	Material inconnel
SA 266 Gr 2N with Clad Inconnel 625 (Tube Sheet) dengan SA 213 TP 304 (Tube)	8.5 v	144.6	152.2	184.1	195.1	201.1
	10.5v	154	170.3	185.3	207.4	210.8
	12.3v	156.3	180.8	198.8	202.7	209
	14.4v	149.4	172.4	201.8	206.1	210.8
	16.2v	151.1	180.2	202.7	212.1	210.2

Lampiran 2

Data Pengelasan

Tabel 2

Material	Tegangan (v)	Peak Temp (°C)	Travel Speed (mm/min)
SA 266 Gr 2N with Clad Inconnel 625 (Tube Sheet) dengan SA 213 TP 304 (Tube)	8.5V	500 C	60
	10.5V		60
	12.3V		60
	14.4V		60
	16.2V		60

Lampiran 3

Data Perhitungan HeatInput

$$H = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{V}$$

H = Heat Input (HI) (J/mm)

E = Tegangan (Volt) I = Arus (Ampere)

V = Kecepatan pengelasan (mm/s)

η = efisiensi pengelasan (GTAW= 0.6)

Tabel 3

Material	Arus (A)	Tegangan (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (J/mm)
SA 266 Gr 2N <i>with</i> Clad Inconel 625 (<i>Tube Sheet</i>) dengan SA 213 TP 304 (<i>Tube</i>)	70 A	8.5 V	60	357
	70 A	10.5V	60	441
	70 A	12.3V	60	516.6
	70 A	14.4V	60	604.8
	70 A	16.2V	60	680.4

Lampiran 4

Perhitungan LebarHAZ

Perhitungan lebar HAZ menggunakan rumus di bawahini

$$\frac{1}{T_p - T_o} = \frac{4.13 \rho C t Y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_o}$$

Dimana

$$\rho C = 0.5 \text{ J/mm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$T_o = 25^\circ\text{C}$$

$$T_m = 1600^\circ\text{C}$$

$$T_p = 600^{\circ}\text{C}$$

$$4,13 \times \rho C \times t = 4,13 \times 0.0044 \times 2 = 0.036344$$

Sehingga didapatkan lebar HAZ sebagaiberikut

Tabel 4

Material	Tegangan (v)	Heat Input (J/mm)	Lebar HAZ (mm)
SA 266 Gr 2N <i>with</i> Clad Inconel 625 (<i>Tube Sheet</i>) dengan SA 213 TP 304 (<i>Tube</i>)	8.5 V	357	1.08
	10.5 V	441	1.33
	12.3 V	516.6	1.56
	14.4 V	604.8	1.83
	16.2 V	680.4	2.06

Lampiran 5

Perhitungan Cooling Rate

Sebelum menghitung *cooling rate*, angka *relative thickness* harus diketahui terlebih dahulu agar dapat diklasifikasikan sebagai plat tipis atau tebal

$$\tau = h \sqrt{\frac{\rho C (T_c - T_o)}{H_{\text{net}}}}$$

Dimana

$$T_c = 600^{\circ}\text{C}$$

$$T_o = 25^{\circ}\text{C}$$

$$h = 2 \text{ mm}$$

$$\rho C = 0.0044 \text{ J/mm }^{\circ}\text{C}$$

Sehingga didapatkan perhitungan *relative thinckness* sebagai berikut

Tabel 5

Material	Parameter	Relativethickness(mm)
SA 266 Gr 2N <i>with</i> Clad Inconel 625 (<i>Tube Sheet</i>) dengan SA 213 TP 304 (<i>Tube</i>)	8.5 v	0.16
	10.5 v	0.15
	12.3v	0.13
	14.4v	0.12
	16.2v	0.12

Setelah mengetahui *relative thickness*, didapatkanlah *cooling rate* dengan rumus berikut

$$R_c = -2\pi k \rho C \left(\frac{h}{H_{\text{net}}} \right)^2 (T_c - T_o)^3$$

Dengan

$$K_{ss} = 0.0386856$$

$$K_{in} = 0.045372$$

$$T_c = 600 \text{ oC}$$

$$T_0 = 25 \text{ oC}$$

$$h = 2\text{mm}$$

$$\rho C = 0.0044 \text{ J/mm } 0\text{C}$$

Dan perhitungan konstan

$$2\pi k_{ss} = 0.2430687935$$

$$2\pi k_{in} = 0.2850806838$$

$$(T_c - T_o)^3 = 190109375$$

Sehingga didapatkan *cooling rate* sebagai berikut

Tabel 6

SHIN HAN METAL CO

SPECIFICATION : ASME SA213-TP304 (2013 ED)

CUSTOMER / STEEL N PEOPLE

Head Office : 69, Sandan 1-Gil, Sanggyo-Eup,
Yeonju-Gun, Chungcheongnam-Do, Korea(340-905)

APPROVED BY

lampiran 7
WPS dan PQR

[illegible][illegible]
$$W_{ps}$$

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR) Record Actual Conditions Used to Weld Test Coupon			
Company Name: <u>PMI, INC./INNOVATION</u>			
Procedure Qualification Record No.: <u>PMI-QP-044-PQR</u>		Date: <u>February 3, 2017</u>	
WPS No.: <u>PMI-QP-044-WPS</u>		Page: <u>1 of 2</u>	
Welding Process(es): <u>GTAW (Shielded Metal Arc)</u>			
Type: (Manual, Automatic, Semi-Auto) <u>Manual</u>			
JOINT DESIGN (QW-402)			
BASE METALS (QW-403) Material Spec.: <u>SA 336 Clad Inconel 625 In. SA 312</u> Type or Grade: <u>SA 312</u> <u>304</u> P-No.: <u>P No. 1</u> In P-No.: <u>P No. 2</u> Thickness of Test Coupon: <u>30 mm x 6 mm Clad In. x 3.33 mm</u> Diameter of Test Coupon: <u>30.15 x 3.33 x .030 in.</u> Other: <u>-</u>		POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-405) Temperature: <u>None</u> Time: <u>None</u> Heating Rate: <u>None</u> Cooling Rate: <u>None</u> Other: <u>-</u>	
FILLER METALS (QW-404) SFA Specification: <u>ER70S-2</u> AWS Classification: <u>ER70S-2</u> Filler Metal Analysis Ref.: <u>-</u> Size of Filler Metal: <u>1/16 inch</u> Voids Metal Treatment: <u>2 min (Reheat at Inconel 625)</u> Other (Trade Name): <u>Super Metal</u> Filler Size (Leg Length): <u>3/16</u>		GAS (QW-406) Percent Composition: Shielding Gas (in): <u>Argon</u> (Shield): <u>None</u> Flow Rate: <u>35 LPM</u> Tailing: <u>None</u> <u>None</u> <u>None</u> Rooting: <u>None</u> <u>None</u> <u>None</u>	
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-407) Current: <u>DC</u> Polarity: <u>Electrode Negative</u> Amperage: <u>See Table Listed</u> Volts: <u>See Table Listed</u> Tungsten Electrode Size: <u>ER70S-2</u> Other: <u>-</u>			
POSITION (QW-408) Position of Groove: <u>Table A of Specification - Fixed</u> Voids Preparation (Depth, Orientation): <u>None</u> Other: <u>-</u>		TECHNIQUE (QW-409) Travel Speed: <u>See Table Listed</u> String or Weave Bead: <u>String Bead</u> Oscillation: <u>None</u> Multiple or Single Pass (per side): <u>Multiple</u> Single or Multiple Electrodes: <u>Single Electrode</u> Preheating: <u>None</u> Use of Thermal Process: <u>None</u> Other: <u>None</u>	
PREHEAT (QW-410) Preheat Temp.: <u>Ambient (MPC)</u> Interpass Temp.: <u>88 - 15 °C</u>			

PMI INNOVATION		FORM QUALIFICATION FORM Q-404	
TABLE NO.	LAYER NO.	WELDING PROCESS	FILLER METAL
1	1	GTAW	ER70S-2
2	2	GTAW	ER70S-2
3	3	GTAW	ER70S-2
4	4	GTAW	ER70S-2
5	5	GTAW	ER70S-2
6	6	GTAW	ER70S-2
7	7	GTAW	ER70S-2
8	8	GTAW	ER70S-2
9	9	GTAW	ER70S-2
10	10	GTAW	ER70S-2
WELDING PARAMETERS (QW-411) TABLE NO. 1 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-412) TABLE NO. 2 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-413) TABLE NO. 3 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-414) TABLE NO. 4 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-415) TABLE NO. 5 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-416) TABLE NO. 6 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-417) TABLE NO. 7 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-418) TABLE NO. 8 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-419) TABLE NO. 9 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-420) TABLE NO. 10 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-421) TABLE NO. 11 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-422) TABLE NO. 12 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-423) TABLE NO. 13 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-424) TABLE NO. 14 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-425) TABLE NO. 15 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-426) TABLE NO. 16 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-427) TABLE NO. 17 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-428) TABLE NO. 18 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-429) TABLE NO. 19 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-430) TABLE NO. 20 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-431) TABLE NO. 21 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-432) TABLE NO. 22 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-433) TABLE NO. 23 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-434) TABLE NO. 24 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-435) TABLE NO. 25 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-436) TABLE NO. 26 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-437) TABLE NO. 27 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-438) TABLE NO. 28 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-439) TABLE NO. 29 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-440) TABLE NO. 30 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-441) TABLE NO. 31 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-442) TABLE NO. 32 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-443) TABLE NO. 33 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-444) TABLE NO. 34 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-445) TABLE NO. 35 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-446) TABLE NO. 36 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u>			
WELDING PARAMETERS (QW-447) TABLE NO. 37 WELDING PROCESS: <u>GTAW</u> FILLER METAL: <u>ER70S-2</u> WELDING SPEED: <u>10 in/min</u> WELDING CURRENT: <u>100 A</u> WELDING VOLTAGE: <u>15 V</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</u> WELDING TIME: <u>10 min</u> WELDING DATE: <u>2/3/2017</</u>			

Lampiran 8

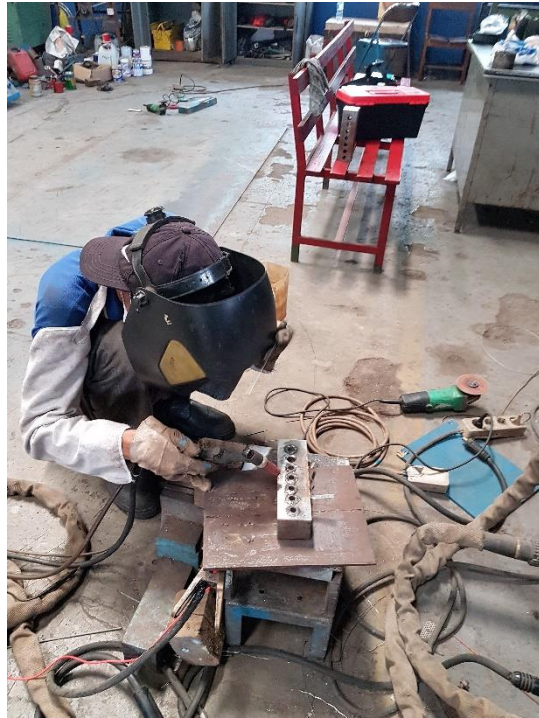
Dokumentasi

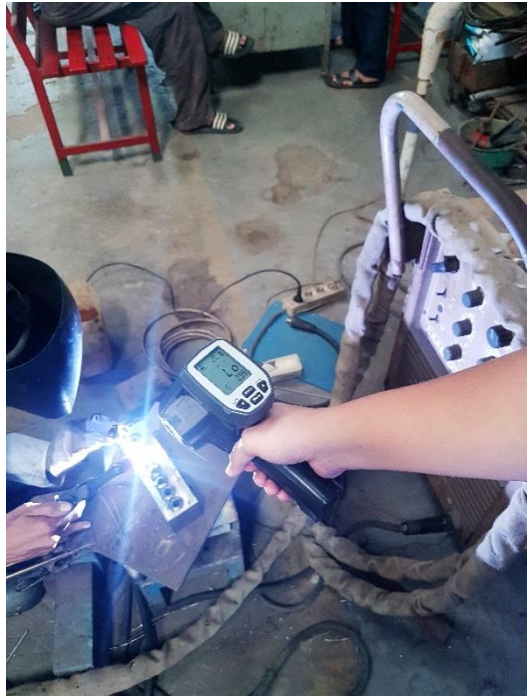




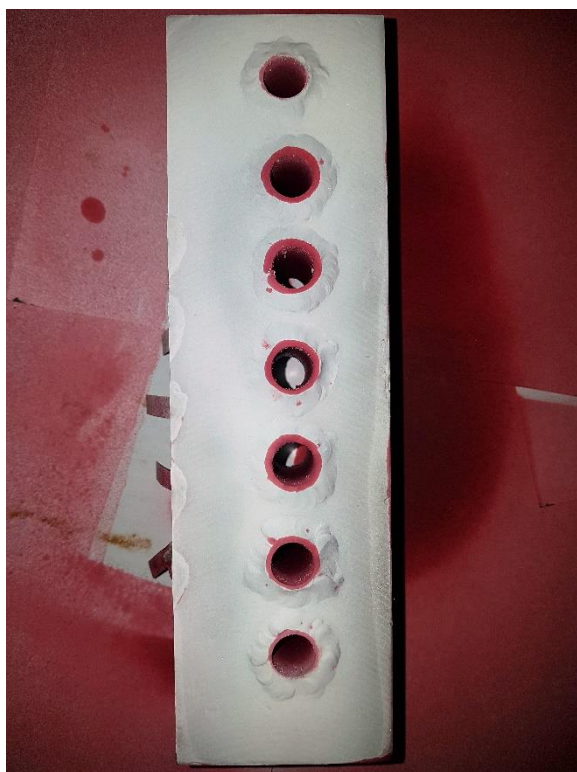


















BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Aulia Ur Rahman Aminuddin yang dilahirkan di Surabaya pada tanggal 27 Desember 1994. Penulis pernah menjalankan pendidikan formal di SD Muhammadiyah 15 Surabaya, SMPN 16 Surabaya dan SMAN 01 Surabaya. Penulis merupakan mahasiswa aktif Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS tahun masuk 2013.

Selama menjalankan pendidikan di kampus ITS Surabaya, penulis berpartisipasi aktif dalam organisasi mahasiswa himpunan mahasiswa teknik material dan metalurgi (HMMT) FTI -ITS sebagai staff departement Dalam Negeri(Dagri) pada tahun 2014-2015, menjadi SC Kaderisasi HMMT FTI-ITS 2014/2015 dan koordinator Senat Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS pada tahun 2015-2016. Selain di dalam himpunan penulis aktif di luar dan menjadi Koordinator SC GERIGI 2015 dan tidak lupa penulis aktif dalam pelatihan LKMM Pra-TD XI, LKMM TD XVII, serta PMO HMMT FTI-ITS. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktik di PT Dirgantara Indonesia.

Tugas akhir yang penulis ambil dalam bidal Metalurgi dan manufaktur dengan judul “Analisa Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap Kualitas Sambungan Hasil Pengelasan GTAW pada Material SA 266Gr2N *with* Clad Inconel 625(TUBE SHEET) Dengan SA 213 TP304(TUBE).

Alamat penulis saat ini adalah Perum Wisma Lidah Kulon B-28 Sby. Nomor telepon yang dapat dihubungi adalah 08125282206 atau alamat email Aulrahmana@gmail.com.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)